DIE
BODENKOLLOIDE

EINE ERGÄNZUNG FÜR DIE ÜBLICHEN LEHRBÜCHER DER BODENKUNDE, DÜNGERLEHRE UND ACKERBAULEHRE

VON

DR. PAUL EHRENBERG

ORDENTLICHER PROFESSOR UND DIREKTOR DES AGRIKULTURCHEMISCHEN UND BAKTERIOLOGISCHEN INSTITUTS DER SCHLESISCHEN FRIEDRICH-WILHELMS-UNIVERSITÄT ZU BRESLAU

„Und darum kann man ohne eine richtige physische Kenntnis des Bodens die Erfahrungen anderer beim Ackerbau nicht sicher benutzen, und der Mangel solcher Kenntnis ist bisher der Hauptgrund des Zurückbleibens dieser Kunst gewesen.“

Albrecht Thaer

in der Übersetzung von H. Davys „Elemente der Agrikulturchemie“, 1814.

DRITTE VERMEHRTE UND VERBESSERTE AUFLAGE

DRESDEN UND LEIPZIG
VERLAG VON THEODOR STEINKOPFF
1922

DER DANKBAREN ERINNERUNG AN
MEINE BRESLAUER LEHRJAHRE GEWIDMET

An die Leser.

Mit diesem Buche, das die Zusammenfassung und Anwendung unserer Erkenntnis auf dem Gebiete der Kolloidchemie für die Bodenkunde geben möchte, lege ich ein neues und vielfach wohl noch fremdartig erscheinendes Unternehmen vor. Denn meine ersten, kleinen Versuche, das sich immer weiter ausbauende neue Fach der Kolloidchemie meinen Berufsgenossen näher zu bringen,[1]) waren durch den Ort ihres Erscheinens nur auf einen sehr engen Leserkreis begrenzt. Und wenn sich seitdem das Interesse für das neue Fach auch in Landwirtschaft und Forstwirtschaft belebt hat, so schreckt doch die Schwierigkeit, die bisher an allen Orten verstreuten Beobachtungen aufzusuchen, und dabei wohl auch nicht nur gänzlich Neuem, sondern auch völlig anderen Fächern Angehörendem zu begegnen, so manchen vor näherer Kenntnisnahme ab.

Daher habe ich hier erneut und in größerem Umfange den Versuch gemacht, für den Agrikulturchemiker, den forschenden Landwirt und Forstmann, aber auch für den Landwirtschaftslehrer, Studierenden und den für neue Erkenntnis interessierten Praktiker in Wald und Feld das Wesentliche zusammenzustellen, das die neue Wissenschaft, die Kolloidchemie, ihnen zu sagen hat. Daß für ein solches Unternehmen ein Bedürfnis vorhanden ist, glaube ich nicht bezweifeln zu können. Denn geradezu unerläßlich und unentbehrlich sind viele der neuen Erkenntnisse für unsere Forschung und Lehre. Eine andere Frage ist es, ob es mir gelang, nun auch soviel zu geben, wie verlangt werden darf und muß.

Ich habe nur zu sehr selbst Empfinden und Erkenntnis dafür, daß ich häufig statt fester, gesicherter Tatsachen nur Wahrscheinlichkeiten und Möglichkeiten, wohl auch einmal Vermutungen bringe. Und ich kann für mich nur den Anspruch erheben, die Berufsgenossen zu den Quellen des Wissens hinzuleiten, weit weniger, ihnen selbst Wissen zu geben. Zurzeit wird es noch in der Mehrzahl der Fälle erforderlich sein,

---

[1]) Mitteilungen der Landwirtschaftlichen Institute der Universität Breslau 4, 445 (1908). Koll.-Zeitschr. 3, 193 (1908). Ebenda 4, 76 (1909). Zeitschr. f. Forst. u. Jagdwesen, 41, 177, (1909) und an anderen Orten.

daß der tiefer nach Erkenntnis Suchende an der Hand der gegebenen Hinweise sich selbst eine Anschauung bildet, nicht, daß er nun die von mir vorgetragene Ansicht ohne weiteres zu der seinen macht. Das Bilden einer eigenen Meinung allerdings glaube ich wesentlich erleichtert zu haben. Ohne intensive eigene Arbeit, häufig genug unbequeme Arbeit, wird es freilich nicht gehen. —

Wenn ich auch sonst die Überzeugung mit vielen Fachgenossen teile, daß eine auf wissenschaftliche Bedeutung Anspruch machende Arbeit ohne genaue Angaben der benutzten Literatur nicht denkbar ist oder bestensfalls viel von ihrem Wert verliert, so mußte es besonders in diesem Fall, wo ich Wegweiser zu den Quellen der bisherigen Erkenntnis sein will, in erster Linie meine Pflicht sein, die Literatur umfassend vorzuführen. Ich habe das versucht, aber in mir voll genügendem Maße noch nicht erreicht.

Das und der Mangel an experimentell einwandfrei gefestigter Erkenntnis auf so manchem Einzelgebiet veranlaßt mich, dies Buch heut als eine Art Generalprobe anzusehen. Möge es, indem es anderen hilft, selbst viel Unterstützung finden, damit bei einer etwaigen Neubearbeitung Lücken ergänzt, Fehler vermieden und neue Erkenntnis hinzugefügt werden kann, so daß dann ein wirklich abgeschlossenes Werk entsteht. Im Anschluß daran richte ich nicht nur an alle wissenschaftlich tätigen Fachgenossen in Land- und Forstwirtschaft, sondern auch an alle Praktiker, die etwa mit dieser oder jener Beobachtung zur Erreichung dieses Zieles beitragen können, die aufrichtige Bitte, einen Brief oder die Übersendung einer Drucksache nicht zu scheuen, um dabei mitzuhelfen. Gerade auf dem Gebiete der Bodenkunde und der Ackerbaulehre macht der Praktiker so oft Beobachtungen, die er nicht allein zu deuten vermag, die aber andrerseits dem Wissenschaftler unbekannt bleiben. Erst wenn hier beide zusammenarbeiten, kann eine oft noch in anderer Richtung wertvolle Aufklärung gewonnen werden. —

So sehr ich meinem Buche aber Anteilnahme und Wißbegier der Berufsgenossen wünsche, so wenig hoffe ich, daß es die kolloidchemische Betrachtung land- und forstwirtschaftlicher Fragen nun „modern" machen wird. Nicht eine bald wieder verrinnende Begeisterung für eine Sache kann unser Fach fördern, sondern nur unverdrossene, ruhige Arbeit, die fern der flüchtigen Gunst der Vielen ihren Weg geht. Findet sich zu dieser Gelegenheit, so wird auch für die praktische Landwirtschaft einmal der Erfolg nicht ausbleiben. Ich erhoffe einen solchen besonders für den Ackerbau, aber noch sind wir fern von einer Erfüllung derartiger Hoffnungen. Zunächst heißt es: an die Arbeit!

Mögen mir dazu engere und weitere Fachgenossen, besonders aber die deutschen Agrikulturchemiker behilflich sein, die letzteren im Sinne Hilgards, der sagte: „Es ist schwer abzusehen, mit welchem Recht ein Chemiker, der nicht mindestens die Kenntnisse und Erfahrungen des praktischen Landwirts sich zu eigen gemacht hat, überhaupt als Agrikulturchemiker zu bezeichnen wäre."[1])

Göttingen, 9. Januar 1914. Dr. Paul Ehrenberg.

Das Buch erschien infolge des Weltkrieges erst Frühjahr 1915.

Zur dritten Auflage.

Die Vorbereitung der dritten Auflage fällt für den Verfasser in eine Zeit größester Schwierigkeiten allgemeiner wie persönlicher Art. Die ausreichend bekannten Hindernisse für den Verlag, ein umfangreiches und nur für gewisse Leserkreise bestimmtes Buch im Neudruck herauszubringen, vereinigen sich mit der Schwierigkeit, die Literatur neuerer und neuester Zeit zu überblicken und, bei durch die bekannte Wohnungslosigkeit gewürzter Übersiedelung an eine neue Universität, die nötige Muße zu gründlicher Arbeit zu finden.

So blieb als Mittelweg übrig, einige geeignet erscheinenden Punkte zu verbessern, ohne daß damit eine gründliche Durcharbeitung, geschweige denn umfassende Änderung alles Verbesserungsbedürftigen und Berücksichtigung so vieler Fortschritte der allgemeinen wie angewandten Kolloidchemie erreichbar gewesen wäre. Dem Leser, der gewiß mit Recht häufig Beanstandungen erheben zu müssen glaubt, sei daher um so dringender die Bitte vorgetragen, durch Zusendung von Arbeiten aus dem Gebiet der Kolloidchemie, Bodenkunde, Geologie, Ackerbaulehre, Düngerlehre, Pflanzenernährung, Meteorologie und was sonst noch in Frage kommt, für eine künftige und hoffentlich unter günstigeren Zeitverhältnissen erstehende Neuauflage den Boden vorzubereiten. Ganz besonders sei diese Bitte an die im Ausland wohnenden Leser gerichtet, da es vielfach kaum möglich ist, wichtige Auslandsliteratur auf andere Weise kennen zu lernen. Ich darf wohl auf das schon im Vorwort zur ersten Auflage Gesagte verweisen. Jede wie immer geartete Mitarbeit wird dankbar und mit der Zusicherung sorgfältiger Prüfung entgegengenommen.

Breslau XVI, Schlesien, 20. September 1921.
Hansastraße 25.
Agrikulturchemisches Institut der Universität. Dr. Paul Ehrenberg

---

[1]) E. W. Hilgard, Forschungen auf dem Gebiete der Agrikulturphysik **16**, 22 (1893).

Inhaltsverzeichnis

EINLEITUNG.

Abriß der Kolloidch

Der Landwirt, sei er nun draußen in der Praxis tätig oder Forscher und Lehrer, wird heutzutage häufig noch einer kurzen Belehrung bedürfen, ehe er sich mit den mannigfaltigen und fesselnden Fragen seines Berufes näher beschäftigen kann, auf die gerade die neuere Erkenntnis der Kolloide Antwort zu geben vermag. Und auch dem bereits besser Unterrichteten mag ein nochmaliger Überblick über sein Wissen frommen. Das gleiche gilt für den Forstmann.

So gebe ich denn zunächst hier in möglichst kurzen Zügen, andererseits aber auch umfassend genug, um hoffentlich einem größeren Kreise verständlich zu sein, die notwendigen Ausführungen.

Bereits diese eben angedeuteten Anforderungen, weiter aber auch die ratsame Beschränkung auf den Kreis des eigenen Gebietes bedingen, daß die folgenden Seiten weder für alle Einzelheiten ausreichend, noch über alle Einwände von fachmännischer Seite erhaben sein werden. Dem land- oder forstwirtschaftlichen Theoretiker, für den dies Buch ja auch mehr als Anregung, denn als Belehrung dienen soll, seien für weitere Studien neben der besonders in der „Kolloid-Zeitschrift" und den „Kolloidchemischen Beiheften" vertretenen modernen Kolloidforschung noch die Bücher von H. Freundlich[1]) und L. Michaelis,[2]) wie Wo. Ostwald[3]) und R. Zsigmondy[4]) empfohlen, neben denen auch noch das ältere Werk von Art. Müller[5]) und endlich die kleine Einführung V. Pöschls[6]) genannt sei.

Für den Landwirtschaftslehrer aber wie für den Praktiker wird meine Darstellung das Nötigste zu geben vermögen. Dem Bedürfnis des über-

---

[1]) H. Freundlich, Kapillarchemie (Leipzig 1909).
[2]) L. Michaelis, Dynamik d. Oberflächen (Dresden 1909).
[3]) Wo. Ostwald, Grundriß d. Kolloidchemie (Dresden 1912) 3. Aufl.
[4]) R. Zsigmondy, Kolloidchemie (Leipzig 1912).
[5]) Arthur Müller, Allgem. Chemie d. Kolloide (Leipzig 1907).
[6]) V. Poeschl, Einführ. i. d. Kolloidchemie (Dresden 1909).

wiegenden Teiles meines voraussichtlich in Frage kommenden Leserkreises entsprechend habe ich außerdem rein theoretische und besonders mathematische Ableitungen möglichst vermieden. Zwar bin ich schon vor längerer Zeit durch meinen verehrten Lehrer Th. Pfeiffer für die Ansicht gewonnen und weiß mich in dieser Hinsicht mit vielen hervorragenden Fachgenossen einig, daß umfangreiche Heranziehung der Mathematik, physikalischen Chemie und Physik unserer landwirtschaftlichen Forschung ganz andere Wege und besonders auch andere, dauerhaftere Ergebnisse verspricht, als sie bisher oft gewonnen werden konnten. Die Zeit aber, zu derartigen Bestrebungen auch einen größeren landwirtschaftlichen Leserkreis heranzuziehen, scheint mir noch nicht gekommen, ein entsprechender Versuch noch von vornherein zur Ergebnislosigkeit verurteilt.[1]) — Und damit zum Gegenstand der Besprechung!

Was sind Kolloide? Eine mit schönen Worten vorgetragene Erklärung würde vielleicht trotz des geraden Weges nicht so gut zum Verständnis führen, wie der Umweg über ein Beispiel: So ist der Ton als Kolloid zu bezeichnen, der Ton, wie wir ihn als zähen, widerspenstigen Bodenbestandteil kennen, wie er als Grundstoff zur Ziegelherstellung dient. Im Gegensatz zu ihm ist der grobe Sand kein Kolloid. Was zeichnet nun den Ton vor dem Sand aus? Er ist zäh, schwindet beim Trocknen, besteht aus sehr feinen Teilen, die man naß beim Reiben zwischen den Fingern nicht fühlt. In Wasser in kleinen Mengen aufgeschlämmt setzt er sich, wenn wirklich recht reines — also, falls destilliertes Wasser fehlt, etwa Regenwasser — benutzt wurde, sehr langsam ab, während Sand darin schnell zu Boden fällt. Endlich ist Ton bildsam, man kann ihn formen, nach dem Trocknen erhärtet er mit annähernder Beibehaltung dieser Form, unter Schrumpfung beziehungsweise Schwinden.

Ziehen wir einmal diese Eigenschaft, bildsam zu sein, welche der Ton mit sehr viel anderen Kolloiden, wie feuchter Papiermasse, frischer Brotkrume u. dgl., teilt, zu näherer Betrachtung heran. Sie soll uns zur Aufklärung über die wesentlichste Eigenschaft der Kolloide führen. Man kann nämlich die Bildsamkeit[2]) von feinen Steinpulvern erhöhen oder sie überhaupt erst herbeiführen, indem man dieselben mit Wasser fein zermahlt.[3])

[1]) Steht doch noch leider trotz unzweifelhaften Fortschrittes der oben erwähnten Gedanken ein Teil unserer wissenschaftlichen Fachgenossen solchen Neuerungen ablehnend gegenüber.

[2]) Plastizität.

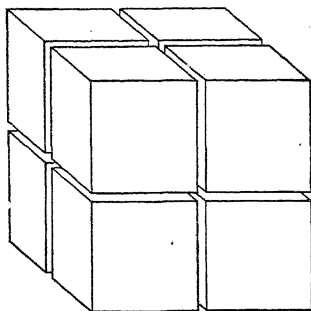
[3]) Nach S. W. Johnson und R. F. Blake, vgl. C. Hintze, Handb. d. Mineralogie 2 (Leipzig 1897), 835.

Es scheint also die feine Zerkleinerung mit der Bildsamkeit und demnach wohl auch mit den übrigen Eigenschaften unseres Kolloidvertreters, des Tons, im Zusammenhang zu stehen. So konnte auch A. D. Hall[1]) bei einem künstlich hergestellten sehr feinen Steinpulver feststellen, daß nur die allerfeinsten Teilchen des ursprünglichen, rohen Kaolinitfels dem Ton ähnliche Eigenschaften aufwiesen. Sie waren unter 0,005 mm dick.

Demnach wäre also maßgebend für das Auftreten von Erscheinungen, die Kolloiden eigentümlich sind, eine außerordentlich weitgehende Zerkleinerung des jeweils in Frage kommenden Stoffes. Deswegen kann natürlich die ganze Masse, wie z. B. bei einem Klumpen Tonbrei, doch in sich zusammenhängend erscheinen.

Wie wird es nun aber kommen, daß durch so weitgehende Zerteilung besondere Eigenschaften hervortreten, so daß sich ein neuer Zustand des Stoffes, eben der Kolloidzustand, ergibt?

Abb. 1.

Wieder ein Beispiel: Nehmen wir einen Würfel von 2 mm Seitenlänge (Abb. 1), so hat er sechs Seitenflächen, Quadrate von je 4 qmm Fläche, seine Gesamtoberfläche beträgt also 24 qmm. Nun denken wir ihn uns durch drei zueinander senkrechte Schnittflächen in acht kleinere Würfel von je 1 mm Seitenlänge zerlegt. Die Oberfläche der Gesamtmasse hat durch diese Zerkleinerung zugenommen; denn außer der bisherigen Oberfläche, die mit ihren 24 qmm bleibt, kommt noch die durch die drei Schnitte neu geschaffene, im Innern des ursprünglichen Würfels belegene Oberfläche hinzu, mit je drei je 1 qmm großen Flächen für jeden der acht neu entstandenen kleinen Würfel. Die Gesamtmasse hat bereits so, ohne dabei ihr Gewicht zu ändern, durch die Zerkleinerung ihre Oberfläche von 24 qmm auf 48 qmm erhöht, also verdoppelt. Die Zahl der Würfel ist jedoch von 1 auf 8 gestiegen, hat sich demnach in weitaus stärkerem Maße vermehrt.

Wie riesig nun mit fortschreitender Zerkleinerung die Oberfläche wächst, wie aber die Anzahl der Einzelstücke sich noch viel stärker vermehrt, sei an einem der so erhaltenen Teilstücke, an einem Würfel von 1 mm Seitenlänge, in Anlehnung an ein von Wo. Ostwald gegebenes Beispiel,[2]) dargelegt:

[1]) A. D. Hall, The Soil (London 1908) 36.
[2]) Wo. Ostwald, Grundriß d. Kolloidchemie (Dresden 1909) 85.

Wachstum der Teilchenzahl und der Oberflächenwerte eines Würfels bei zunehmender dezimaler Verteilung:

Seitenlänge des einzelnen Würfels	Es sind vorhanden Würfel	Steigerung in dreifach. Potenzen	Gesamt-oberfläche	Steigerung in einfach. Potenzen
1 mm	einer		6 qmm	6
0,1 mm	tausend	$1 \times 10^{3 \times 1}$	60 qmm	6×10^1
0,01 mm	eine Million	$1 \times 10^{3 \times 2}$	600 qmm	6×10^2
0,001 mm oder 1 μ[1])	eine Milliarde	$1 \times 10^{3 \times 3}$	6000 qmm = 60 qcm	6×10^3
0,1 μ	10^{12} [2])	$1 \times 10^{3 \times 4}$	600 qcm	6×10^4
0,01 μ[3])	10^{15}	$1 \times 10^{3 \times 5}$	6000 qcm.	6×10^5
0,001 μ oder 1 μμ	10^{18}	$1 \times 10^{3 \times 6}$	60000 qcm = 6 qm	6×10^6
0,1 μμ[4])	10^{21}	$1 \times 10^{3 \times 7}$	60 qm	6×10^7
0,01 μμ	10^{24}	$1 \times 10^{3 \times 8}$	600 qm	6×10^8

Es erhellt hieraus, daß mit zunehmender Zerteilung eines Stoffes, sagen wir, eines Felswürfels, die Oberfläche nur nach einfachen Potenzen, die Teilchenzahl dagegen nach den dritten Potenzen wächst, also in ungleich stärkerem Maße. Aber noch eine weitere, wesentliche Veränderung einer Grundeigenschaft des Stoffes ist bei der Zerkleinerung hervorzuheben. Vergleicht man nämlich das Verhalten von Masse und Oberfläche in den einzelnen, durch fortschreitende Zerkleinerung entstehenden Teilchen, so ergibt sich, daß mit fortschreitendem Kleinerwerden die Masse erheblich schneller abnimmt, als die Oberfläche.[5]) So sei die

Seitenlänge des einzelnen Würfels	Dann ist die Masse, durch Gewicht dargestellt	Das Verhältnis der Abnahme für sie	Die Oberfläche	Das Verhältnis der Abnahme für sie
1 cm	1000 mg		600 qmm	
		1000 : 1 od. 10^3 : 1		100 : 1 od. 10^2 : 1
0,1 „	1 „		6 „	
		1000 : 1 od. 10^3 : 1		100 : 1 od. 10^2 : 1
0,01 „	0,001 „		0,06 „	

[1]) Ein Mikron, mit dem griechischen Buchstaben für m (μ) bezeichnet.

[2]) Da die in dieser Spalte folgenden Zahlen nach ihrer Größe über die im allgemeinen üblichen Zahlenwerte weit hinausgehen, habe ich sie als Potenzen der Zahl Zehn angegeben.

[3]) Größe von eben im Ultramikroskop sichtbaren kolloiden Goldteilchen.

[4]) Größe des Wasserstoffmoleküls.

[5]) Vielleicht dient es noch dem näheren Verständnis des Verhältnisses von Masse zur Oberfläche und ihren Kräften, wenn man sich vergegenwärtigt, daß es

Während also die Masse nach den Kubikwerten von zehn abnimmt, vermindert sich die Oberfläche nur nach den Quadraten von zehn.

Auffällig ist hiernach, einerlei ob wir von einem größeren Stück irgendeines Stoffes ausgehen und dies zerteilen, oder gleich ein außerordentlich weitgehend zerkleinertes Teilchen betrachten, stets das machtvolle Hervortreten der Oberfläche gegenüber der Masse. Dann aber gewinnt in noch erhöhtem Umfange die selbst für unser durch die Zahlen der Kriegsanleihen etwas geschultes Zahlenvorstellungsvermögen kaum faßbare Menge der Einzelteilchen unsere besondere Aufmerksamkeit und nicht zuletzt werden wir die mit dem Umfange der Zerkleinerung rasch steigende Verminderung der Masse des Einzelteilchens ins Auge zu fassen haben. Je nach den Umständen wird bald dem einen, bald dem anderen dieser Zusammenhänge größere Beachtung zu schenken sein. Daß diese Betrachtung uns zur richtigen Erklärung überleitet, zeigen Beobachtungen an der Tätigkeit der Gletscher und ihren Erfolgen.

Harten Fels in unendlich feine Teile zu zermahlen ist ein schwieriges und bei irgendwie erheblichen Mengen auch kostspieliges Geschäft. Wollen wir aber hieran unsere soeben gefundenen Schlüsse prüfen, so ist es nicht nötig, in den der Erzaufbereitung dienenden Pochwerken Umschau zu halten, obwohl auch hier sich Beweise finden ließen.[1]) Der Gletscher des Hochgebirges übt solche zerkleinernde Tätigkeit seit Jahrtausenden aus, und was hoch oben als Stein auf seinen Rücken fiel oder als Fels sein Bett darstellte, das sendet er zum guten Teil in feinster Zerkleinerung als Trübung der Gletscherbäche weit ins Land hinaus. Und wirklich konnte bei einer Untersuchung solchen Schlammes vom Fuß des Muirgletschers in Alaska die Menge von 16½ % davon als „Ton" bezeichnet werden.[2]) Ganz deutlich zeigt sich hier die kolloidbildende Wirkung der weitgehenden Zerkleinerung fester Massen. Denn der ursprünglich feste Fels kann jetzt, genügend zerteilt, infolge der starken Verminderung der Masse des Einzelteilchens, sowie auch wohl wegen des Steigens der Oberfläche, weit im Wasser schwimmen, und ähnelt wenigstens teilweise dem Ton.

---

wohl notwendig ist, um die Masse eines Stoffes zu erhöhen, neue Gewichtsmengen hinzuzufügen. Dagegen gelingt es sehr leicht, z. B. beim Schütteln einer auf Wasser schwimmenden Ölschicht, bei gleichbleibendem Gewicht sehr erhebliche Oberflächenvermehrungen durchzusetzen.

[1]) Th. Scheerer, Ann. d. Chem. u. Phys. **82**, 419 (1851). Ferner F. Schulze, ebendort (5.) **9** (1866).

[2]) Nach R. Loughridge, zit. bei E. W. Hilgard, Soils (Neuyork 1906) 4. „Ton" nur in dem dafür bei amerikanischen Bodenforschern üblichen Sinne zu verstehen.

Es ist nun ohne weiteres als ausgeschlossen zu betrachten, daß wir das einzelne winzig kleine Teilchen an sich als Kolloid bezeichnen und ihm große Beachtung schenken. Denn selbst unsere besten optischen Hilfsmittel versagten bis vor kurzer Zeit hierbei, solche kleine Teilchen waren nicht sichtbar zu machen. Und auch jetzt, wo die Erfindung des „Ultramikroskops" hier Besserung gebracht hat, ist doch trotzdem für unseren Zweck mit dem einzelnen Teilchen nicht viel anzufangen. Da aber Landwirtschaft wie Technik so viel mit Kolloiden zu tun haben, da diese eine so große Bedeutung für viele Zweige des menschlichen Schaffens besitzen sollen, so muß es sich wohl um Greifbares und Sichtbares, zum Teil um große Massen handeln; das zeigt ja schon der Umstand, daß der Ton als Kolloid bezeichnet wurde.

Gesamtheiten kleinster Teilchen werden also als Kolloide Bedeutung besitzen, aber außer den Stäubchen des Stoffes selbst muß dann bereits noch ein anderer Bestandteil derselben unsere Beachtung fordern: das, was sich zwischen den Teilchen befindet. Es leuchtet ohne weiteres ein, daß es sich dabei um sehr verschiedene Dinge handeln kann, welche die einzelnen Teilchen voneinander trennen. Bei dem Schlamm, den der Gletscherausfluß mit sich führt, war es das Wasser, in das sie eingebettet waren. Und in weitaus der Mehrzahl der Fälle, die für den Forst- und Landwirt in Betracht kommen, wird es sich denn auch um dies Trennungsmittel der Teilchen handeln.

Daß auch andere in Betracht kommen können, zeigt sich, wenn man beachtet, daß an manchen Orten die zermahlende Gletscherwirkung durch andere Naturkräfte ersetzt wird. Bereits in den Dünen unserer Küsten, noch schärfer in Wüstengegenden, können die zerkleinernden Wirkungen, die Wind und Sand vereint ausüben, beobachtet werden.[1]) Auch hier entsteht feinster Staub, nur daß ihn nicht das Wasser trennt und gegebenenfalls fortbewegt, sondern die Luft.[2]) Es würde eine Staubwolke demnach auch gewissermaßen als Kolloid aufzufassen sein, nur deswegen unserer Anschauung fernstehend, weil man es selten mit länger andauernden Erscheinungen dieser Art zu tun hat, und sie daher

[1]) Vgl. z. B. dazu R. Beck, Zeitschr. Deutsch. Geolog. Gesellschaft 1894, 537. Ferner N. Obrutschew, Verh. d. russ. min. Gesellsch. **33**, 229 (1895), zit. nach Neues Jahrb. Mineralogie II, 466 (1896).

[2]) Aus der Literatur des Fortschwebens von Staub in der Luft sei noch erwähnt: C. v. John, nach Neues Jahrb. Mineralogie **2**, 287 (1897); G. Hellmann u. W. Meinardus, Abhandlg. preuß. Meteorol. Instituts **2**, Nr. 1 (1901); sowie G. Hellmann, Meteorolog. Zeitschr. **20**, 133 (1903); E. Janežič, Meteorolog. Zeitschr. **23**, 224 (1906).

für gewöhnlich nicht näher kennen lernen kann. Daß aber weitgehende Ähnlichkeiten bestehen, mag die folgende Ausführung zeigen.

Daß der feinste „Ton"schlamm, den das Gletscherwasser mit sich führt, kolloidartiger Natur ist, wie der eigentliche Ton besonders, wurde bereits gesagt. Und niemand wird bezweifeln, daß für das Niedersinken dieser Teilchen; falls sie in großen Wassermengen aufgeschwemmt und fortgeführt werden, um so längere Zeit erforderlich sein wird, je kleiner sie sind.

Genau ähnliche Verhältnisse finden wir aber bei vom Winde bewegten Körnchen. Nach J. A. Udden wird der Wind Quarzkörnchen etwa auf folgende Entfernungen forttragen können:[1])

Durchmesser		Entfernung
8—1	mm	etwa 1 m (einige feet)
1—$^1/_4$	mm	etwa 25 m (wenige rods)
$^1/_4$—$^1/_8$	mm	etwa 1500 m (weniger als 1 mile)
$^1/_8$—$^1/_{16}$	mm	etwa 7500 m (einige miles)
$^1/_{16}$—$^1/_{32}$	mm	etwa 300 km (200 miles)
$^1/_{32}$—$^1/_{64}$	mm	etwa 1500 km (1000 miles)
$^1/_{64}$	und weniger . .	um die Erde.

Mit feinster Zerteilung finden wir hier demnach schon in der Luft kein Niedersinken mehr, sondern ein Schweben,[2]) wie es uns das Spiel der Sonnenstäubchen so oft zeigt. Ähnliches wird auch eintreten, wenn die Teilchen sich im Wasser befinden, nur, der größeren Dichte dieses Verteilungsmittels entsprechend, hier leichter.

Bisher ist nun, von einigen Beispielen ausgehend, angenommen worden, daß die Kolloide durchgehends als in einem anderen Stoff fein verteilte kleinste Teilchen auftreten Nun wäre dagegen vielleicht zu sagen, daß doch auch das klare Eiweiß des Hühnereies, daß Bier, Leim, und Gallert aller Art Kolloidlösungen sein sollen. Das ist auch der Fall, und auch in ihnen hat die neuere Forschung gelehrt, kleinste Teilchen in einem Verteilungsmittel zu unterscheiden.

Ich knüpfe, um diese Fragen klarzulegen, an die soeben erwähnte Erscheinung der Sonnenstäubchen an.

[1]) J. A. Udden, Neues Jahrb. Mineralogie, II. Ref. (1900) 74.

[2]) Vgl. z. B. über Staubfall in weit entfernten Gegenden C. v. Camerlander, Jahrb. geolog. Reichsanst. **38**, 281 (1888). Eine 3 cm dicke Staubschicht, deren Herkunft aus der Nähe ausgeschlossen war, — mittlere Dimension der Einzelkörnchen von 0,04 mm, — fiel auf großen Gebieten nieder. Weiter A. E. v. Nordenskiöld, Neues Jahrb. Mineralogie, II. Ref. (1891) 61; L. Finckh, Zeitschr. Deutsch. Geol. Gesellsch., Monatsber. **59**, 326 (1907); **60**, 62 (1908).

Wo kommen sie her? Ehe die Lichtstrahlen in die Stube fielen, sah man sie nicht, und wenn eine Wolke das Tagesgestirn verhüllt, verschwinden auch sie. Das heißt, sie verschwinden für unser Auge; das Licht machte sie erst sichtbar. Genau so hilft uns das Licht, in scheinbar klaren Kolloidlösungen die Teilchen zu erkennen.

Läßt man nämlich in einem dunkeln Raume durch ein die Kolloidlösung enthaltendes Glasgefäß einen scharfen Lichtstrahl fallen, so zeigt sich auf seinem Wege durch die Lösung ein matter Schimmer, das sog. Tyndallphänomen,[1]) da die kleinsten darin enthaltenen und für das Auge nicht sichtbaren Teilchen das Licht abbeugen. Durch die Forschungen von R. Zsigmondy und H. Siedentopf[2]) ist es dann möglich geworden, diese so beleuchteten und mit dem gewöhnlichen Mikroskop nicht mehr wahrnehmbaren Teilchen zu beobachten, so daß heute tatsächlich der Beweis vorhanden ist und jedem Ungläubigen durch das Ultramikroskop wiederholt werden kann, daß die scheinbar gleichartigen kolloiden Lösungen in Wirklichkeit Verteilungen feinster Teilchen in einer Flüssigkeit sind.[3])

Wir müssen in den Kolloiden unendliche Mengen von kleinsten Teilchen annehmen, die in einem anderen Stoffe, meist einer Flüssigkeit, verteilt sind. Dabei wird ohne weiteres klar sein, daß diese kleinsten Teilchen fest oder aber auch flüssig sein können, sie dürfen sich nur nicht völlig in der Verteilungsmasse auflösen, sondern müssen sich etwa zu ihr verhalten, wie Öl zu Wasser.

Ich sprach oben davon, daß Staubwolken gewissermaßen auch zu den Kolloiden zu rechnen oder besser, mit ihnen verwandt seien. So zeigen solche Wolken feinsten Staubes, wie wir sie zum Beispiel im Rauch vor uns haben, ebenfalls das Tyndallphänomen. Auch eine weitere Art von Gebilden, die an die Kolloide angrenzen, werden wir sogleich kennen lernen. Denken wir uns in einer Flüssigkeit feinst verteilte Luftbläschen schwimmend, so wird sie in vieler Hinsicht unter die oben gegebene Erklärung des Wortes „Kolloid" fallen. Nur daß von Beständigkeit solcher Gemische meist kaum zu reden ist. Wenn sich aber die Luftbläschen vergrößern und die Flüssigkeitsmasse vermin-

---

[1]) Nach seinem Entdecker, dem englischen Physiker J. Tyndall. Literatur bei Art. Müller, Allg. Chemie d. Kolloide (Leipzig 1907) 16.

[2]) Vgl. R. Zsigmondy, Erkenntnis d. Kolloide (Jena 1905); Kolloidchemie, II (Leipzig 1912); dann Art. Müller, a. a. O. 18.

[3]) Daß nicht jede Kolloidlösung im Ultramikroskop einzelne Teilchen erkennen läßt, kann durch optische Verhältnisse, aber auch durch zu weitgehende Kleinheit der Teilchen bedingt sein.

dert, so haben wir einen Schaum vor uns, und auch hierbei bieten sich mannigfaltige Berührungspunkte mit den Kolloiden dar. Sind endlich die Luftbläschen so weit vergrößert, die Flüssigkeitsteile so weit verkleinert gedacht, daß die Rollen sich umkehren und jetzt Flüssigkeitströpfchen von äußerster Kleinheit in Luft schwimmen, so werden wir von einem Nebel sprechen.

Wir lernen demnach, als sich an die eigentlichen Kolloide anreihend, noch Rauch und ähnliche Gebilde — also feste Teilchen in Luft schwebend —, ferner Nebel — Tröpfchen ebenfalls in Luft, oder natürlich auch anderen Gasen — kennen. Dann sind noch die Schäume zu erwähnen, Gebilde, bei welchen Luft- oder andere Gasteilchen von Flüssigkeit umhüllt sind, wie es ja ein jeder vom Seifenschaum kennt.

Ich sprach vorher davon, daß diese letztgenannten Bildungen gewissermaßen auch als Kolloide aufgefaßt werden könnten, verbesserte mich jedoch dann dahin, daß sie mit diesen verwandt seien; denn schließlich ist der Begriff der Kolloide doch durch den Sprachgebrauch begrenzt und darf nicht gar zu sehr erweitert werden. Will man aber neben den eigentlichen Kolloiden auch Rauch, Nebel und Schäume unter einen Namen bringen, so muß man etwa allgemein von „Zerteilungen"[1]) sprechen, im Gegensatz zu „Lösungen", „Gemischen" und ähnlichem.

Bevor ich jedoch diese allgemeine Besprechung beende, ist wohl noch mit einigen Worten auf einen Unterschied einzugehen, den uns die eigentlichen Kolloide zeigen. Ich erwähnte, daß bei ihnen die Teilchen ebensowohl flüssig wie fest sein können, nur müssen sie eben sich nicht völlig in dem Verteilungsmittel auflösen. Wir erhalten so aber zwei Arten, die mit Tröpfchen[2]) und solche mit Körnchen im Verteilungsmittel. Ob allerdings tatsächlich scharfe Grenzen zwischen beiden bestehen, ist nicht so wahrscheinlich, wie es nach diesen Worten vielleicht angenommen werden könnte. Für uns kann aber glücklicherweise die Frage, ob wirklich Körnchen- und Tröpfchenkolloide mit Recht unterschieden werden können, als ziemlich nebensächlich angesehen werden, da im Boden echte Körnchenkolloide kaum vorkommen dürften.

Stets muß ja bedacht werden, daß die Natur ihre Erzeugnisse nicht nach unseren Einteilungskünsten richtet, sondern daß die von Menschen erdachte Einteilung nur ein Mittel sein soll, die verwirrende Mannigfaltigkeit der Naturerscheinungen besser zu überblicken. So wird durchaus

[1]) Nach Wo. Ostwald, a. a. O., 80: „disperse heterogene Systeme"

[2]) Ob für die Bildung der Tröpfchen besonders ausgeprägte Wasserhüllen um die Teilchen, oder ihre Formart selbst maßgebend ist, spielt hier für uns keine Rolle. Vgl. dazu Zsigmondy, Kolloidchemie, 149 (Leipzig 1912).

nicht überall ein scharfer Unterschied vorhanden sein, vielmehr meist allmählich ein Übergang auftreten. Das trifft nicht nur für die soeben berührten Verschiedenheiten der Tröpfchenkolloide oder Emulsoide, wie wir sie auch nach kolloidchemischem Sprachgebrauch nennen könnten, und der Körnchenkolloide oder Suspensoide zu, sondern ebenfalls für die ganze Gruppe der Kolloide, wie auch der anderen Zerteilungen.

Gehen wir zwecks näherer Darlegung zu unserem Beispiel der Gletscherwirkung auf Fels zurück. Was dabei am feinsten zermahlen wurde, indes nur eine im Vergleich zu der ganzen aufgearbeiteten Gesteinsmasse sehr geringe Menge, stellt sich wahrscheinlich als Kolloid dar. Aber daneben fanden sich im Gletscherschlamm noch große Mengen von sehr feinen bis groben Sanden, bei denen eben die Zerteilung nicht bis zur Kolloidbeschaffenheit gelangt war. Und endlich wird das Gletscherwasser auch gewisse Mengen von salzartigen Bestandteilen der Felsen völlig gelöst enthalten. Daß hierbei im großen und ganzen aber keine schroffen sondern nur allmähliche Übergänge vorhanden sind, liegt nahe. Auch die Beobachtung weist hierauf hin. Denn einmal beginnen schon Aufschwemmungen von Sand, der noch nicht so übermäßig fein verteilt ist, einige der Eigenschaften zu zeigen, welche wir bei den Kolloiden besonders ausgesprochen finden.[1]) Bereits $^1/_5$ mm Durchmesser besitzende, also noch mit bloßem Auge ganz gut wahrnehmbare Sandkörnchen beginnen sich derart bei Aufschwemmung in Wasser an die Kolloidverteilungen anzuschließen. Deswegen sind auch solche Aufschwemmungen von festen Teilchen oder Suspensionen, wie man sie meist bezeichnet, ebenfalls bei der Betrachtung der für den Landwirt wichtigen Kolloide heranzuziehen. Den Aufschwemmungen (oder Suspensionen) in ihrer Beziehung zu den Körnchenkolloiden (oder Suspensoiden) entsprechen gröbere Tröpfchenverteilungen, die Emulsionen (oder Milcharten), im Verhältnis zu den Tröpfchenkolloiden (oder Emulsoiden).

Weiterhin bestehen wieder manche Kolloide aus so außerordentlich kleinen, auch mit dem Ultramikroskop nicht sichtbar zu machenden Teilchen,[2]) daß bis zur Lösung, d. h. zur molekularen Verteilung, nur noch ein Schritt ist. Ebenso zeigen ferner auch Lösungen von Schwermetallsalzen nach W. Spring[3]) das Tyndallphänomen trotz Niederschlagens aller etwaigen Verunreinigungen, ein Zeichen, daß hier umgekehrt Übergänge von tatsächlicher Lösung zur Kolloidlösung auftreten.

[1]) Vgl. P. Ehrenberg, Koll.-Zeitschr. **3**, 195 (1908).
[2]) R. Zsigmondys „Amikronen"; vgl. Erkenntnis d. Kolloide (Jena 1905).
[3]) W. Spring, Bull. Acad. roy. Belg. **37**, 300 (1899).

Für die Kolloide besteht also mit den sich an sie anschließenden Zerteilungen ein ununterbrochener Übergang einerseits zu gröberen Gemischen, andererseits zu Lösungen. Durch steigende Verteilung in einer Flüssigkeit gelangt man von dem groben Gemisch über die Aufschwemmung zur kolloiden Lösung und dann weiter allmählich in das Gebiet der tatsächlichen Lösungen, die gleichartig sind. So sei auf verschiedene bekannte Stoffe hingewiesen, die man sowohl in groben Stücken, wie als Kolloide, wie endlich als Lösung kennt: z. B. Schwefel, Kieselsäure (als Bergkristall und Sand, als Kieselsäurekolloid wie als wassergelöste, diffusible[1]) Kieselsäure), ferner Kochsalz.[2]) Daß auch die Edelmetalle, z. B. Gold und Silber, als Kolloide gewonnen werden, ist bekannt.

Ein Schluß bleibt dann unvermeidlich. Theoretisch betrachtet wird sich demnach jeder Stoff, welcher es immer sei, auch als Kolloid herstellen lassen, man hat nicht mehr von den Kolloiden als einer besonderen Gruppe von Stoffen zu sprechen, sondern dadurch nur einen Zustand des Stoffes zu bezeichnen, wenn auch nicht mit dem gleichen Recht, wie man vom kristalloiden Zustand spricht.[3])

Diese zunächst recht kühn erscheinende Ansicht ist heute wohl besonders infolge der Mitteilungen P. P. v. Weimarns[4]) und anderer auf dem besten Wege, die allgemeine zu werden.

Trotzdem wird es auch in Zukunft nicht überflüssig sein, unter den Kolloiden eine etwas enger begrenzte Gruppe zu verstehen, als etwa die Gesamtheit aller Stoffe, die sich jeweils auch in Kolloidform vorfinden. Für die angewandten Wissenschaften und zumal für die hier in Frage kommende Land- und Forstwirtschaft muß es von maßgebender Bedeutung sein, ob ein Stoff unter gewöhnlichen Verhältnissen in kolloidem Zustand auftreten wird. Mit anderen Worten, wenn der Landwirt von Kolloiden spricht, wird er damit diejenigen Stoffe bezeichnen, welche in der Landwirtschaft häufig oder zumeist in kolloidem Zustand vorkommen, unbekümmert darum, daß vielleicht damit eine ganze Reihe für ihn nicht wichtiger Dinge vernachlässigt wird. Was dabei vorwiegend in Frage kommt, wird die spätere Besprechung der für den Landwirt und Forstmann besonders bedeutungsvollen Kolloidgruppen dartun.

[1]) F. Mylius u. E. Groschuff, Ber. Deutsch. chem. Ges. **39**, 116 (1906).

[2]) Als Kolloid durch C. Paal hergestellt, Ber. Deutsch. chem. Ges. **39**, 1436, 2859, 2863 (1906).

[3]) Wo. Ostwald, Grundriß d. Kolloidchemie (Dresden 1909) 43.

[4]) P. P. v. Weimarn, Koll.-Zeitschr. **1**, Ergänz.-Heft XXX (1907); **2**, 82 (1907).

Nachdem wir so einen allgemeinen Überblick über das, was Kolloide sind, gewonnen haben, seien die aus ihren Sondereigenschaften folgenden Tatsachen und Erscheinungen besprochen.

Die Sondereigenschaften der Kolloide. Auch hier wird zweckmäßigerweise nicht eine Aufzählung von Eigenschaften zu geben sein, sondern versucht werden müssen, die begründenden Umstände aus dem bisher Erkannten zu entwickeln, um so erst später mit klarem Verständnis auf Einzelheiten einzugehen.

Als bezeichnend gilt für die Kolloide das Bestehen von außerordentlich viel überaus kleinen Teilchen in einem von ihnen abgegrenzten Stoff, meist einer Flüssigkeit. Und die mit der so feinen Verteilung zusammengehende Entwicklung der Oberfläche mußte ebenso als besonderes Kennzeichen des Kolloidzustandes und als Ursache seiner vielfach hervortretenden Sondereigenschaften angesehen werden wie das Zurücktreten der Masse des Einzelteilchens und die außerordentliche Zunahme der Teilchenzahl. Es wurde ja bereits darauf hingewiesen, daß mit sinkender Größe eines Teilchens seine Oberfläche erheblich weniger als seine Masse abnimmt, so daß hier die Verhältnisse gewissermaßen im Extrem vorliegen, die man bereits in der Agrikulturchemie an anderem Orte in den Kreis der Betrachtung gezogen hat: Ich meine bezüglich der Bedeutung der Größe von Warmblütern für ihren Energieverbrauch durch Wärmeabgabe.[1]) Je kleiner ein Tier ist, desto größer ist im Verhältnis seine Körperoberfläche (und dementsprechend seine Wärmeabgabe bzw. der für die Erhaltung der Körperwärme notwendige Energieaufwand).

Neben der außerordentlichen Oberflächenentwicklung ist also das Auffällige für den Kolloidzustand die große Teilchenzahl und die geringe Masse der Einzelteilchen. Der Grund dafür leuchtet auch bald ein. Denn bei der Lösung fehlt natürlich innerhalb der Gesamtmasse bei größter Teilchenzahl der Moleküle bzw. Ionen, und geringster Masse derselben die Oberfläche ganz[2]); und für grobe Gemenge und Gemische tritt wegen der Größe der Einzelteile die Oberfläche mit ihren Wirkungen noch sehr weitgehend zurück, während entsprechend die Teilchenzahl gering, die Masse des einzelnen Teilchens verhältnismäßig groß ist.

Die Oberfläche „mit ihren Wirkungen", hieß es soeben, und auch vorher wurde darauf hingewiesen, daß für die eigentümlichen Erschei-

---

[1]) O. Kellner, Ernährung d. landwirtsch. Nutztiere, 7. Aufl. (Berlin 1916) 98, wo auch Angaben über die Literatur.

[2]) Wenn man von molekularen Verhältnissen absieht.

nungen bei Kolloiden, deren bereits gleich zu Anfang einige erwähnt werden mußten, die Oberfläche mit ihrer großen Ausdehnung eine wichtige Ursache sein dürfte. So wird es denn nötig sein, zunächst diese Sondereigenschaft der Kolloide, die Ausdehnung ihrer Oberfläche, einer näheren Besprechung zu unterziehen.

Unter Oberfläche eines Körpers verstehen wir, ohne Rücksicht auf oben und unten, seine Grenzfläche gegen den ihn umgebenden Stoff, etwa wie man von der Oberfläche unserer Erdkugel spricht. So zeigt ebensowohl eine Luftblase in Flaschenglas, ein auf dem Tisch liegender Stein, wie ein in Wasser schwebender Öltropfen eine Oberfläche. Die Oberfläche trennt demnach zwei mehr oder weniger voneinander verschiedene Stoffe, und bereits hieraus ergibt sich, wie es ja auch schon die angeführten Beispiele belegen, daß je nach der wechselnden Formart[1]) der Stoffe, also fest, flüssig oder gasförmig, mannigfache Arten solcher Trennungsflächen möglich sind. Von den von Wo. Ostwald zusammengefaßten Fällen[2]) seien hier nur die für Zerteilungen besonders wichtigen mit Beispielen dafür wiedergegeben:[3])

Die Trennungsfläche: flüssig-gasförmig, tritt z. B. bei Nebeln und Schaum auf;

fest-gasförmig, für Rauch, Staub, und manche ausgetrockneten Gallerten u. dgl. bezeichnend;

flüssig-flüssig, ein Kennzeichen für gröbere Gemenge, die sog. Emulsionen wie auch für die Tröpfchenkolloide und manche noch feuchten Gallerten;

fest-flüssig, bei Aufschwemmungen, denen noch die sehr feine Verteilung mangelt, wie bei den Körnchenkolloiden vorhanden; weiter auch bei mehr oder weniger Feuchtigkeit enthaltenden Gallerten.

Nach diesen kurzen Ausführungen über die Art des Vorkommens von Oberflächen sei auf die Kräfte eingegangen, deren Betätigung die Oberflächen auszeichnet.

Betrachten wir einen in Wasser schwebenden Öltropfen: er zeigt Kugelform. Sehen wir eine in Wasser langsam aufsteigende kleinere Luftblase an: sie ist kugelförmig. Die Seifenblasen, deren Farbenschiller und Schweben unsere Kinder erfreut; soweit sie unabhängig von angrenzenden Schaumteilen oder Gegenständen sind, zeichnet auch sie die Kugelform aus. Ähnliches finden wir meist beim Hagel, beim Regen, bei dem auf

[1]) Formart nach Wi. Ostwald für „Aggregatzustand".

[2]) Wo. Ostwald, Grundriß d. Kolloidchemie (Dresden 1909) 96.

[3]) H. Freundlich, Kapillarchemie (Leipzig 1909) 2, gibt eine ähnliche Aufstellung.

einer glühenden Herdfläche tanzenden Wassertropfen, beim Tau auf Gras, Halmen und Spinnweb. Was besagt dies nun aber?

Die Kugel hat bei gegebenem Rauminhalt die geringste Oberfläche von allen Körpern. Es muß also bei frei schwebenden Flüssigkeiten, Gasblasen usw., da sie möglichst die Kugelform annehmen, ein Bestreben vorhanden sein, die Oberfläche zu verkleinern.[1] Dies weckt den Gedanken, daß z. B. jeder mit Flüssigkeit erfüllte Raum wie von einer elastischen Haut umhüllt ist, deren Spannung die möglichste Verkleinerung der Oberfläche bedingt.[2] Man kann vielleicht eine einfache und einleuchtende Erklärung für das Auftreten dieser Oberflächenspannung folgendermaßen geben:

In einer Flüssigkeit ziehen sich die einzelnen Flüssigkeitsteilchen mit einer bestimmten Kraft an und bedingen somit einen gewissen Zusammenhalt der Gesamtmasse, den z. B. ein untersinkender Gegenstand

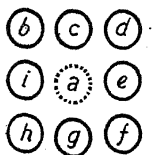
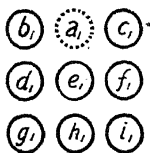
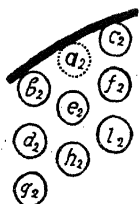



Abb. 2. Abb. 3. Abb. 4.

überwinden muß, wodurch das Hinabsinken erschwert oder verzögert werden kann.

Man stelle sich nun ein mitten in der Flüssigkeit schwebendes Teilchen a vor, das, da es mitten in der Flüssigkeit befindlich ist, rings von den ihm sonst gleichen Flüssigkeitsteilchen b, c, d, e, f, g, h, i angezogen wird, wenn wir der Einfachheit wegen nur bei einer Flächendarstellung bleiben (Abb. 2). Da es von allen Seiten gleich stark angezogen wird, so verharrt es in seinem Gleichgewicht, als ob überhaupt keine Anziehung stattfände. Nehmen wir nun aber an, daß ein zweites Teilchen, a_1, sich nicht inmitten der Flüssigkeit, sondern an deren Oberfläche befinde (Abb. 3), so erkennt man sofort, daß der Zug nach oben, den beim Teilchen a die Teilchen b, c und d ausübten, hier fortfällt, denn über Teilchen a_1, das ja in der Oberfläche liegt, befinden sich keine Teilchen der Flüssigkeit mehr. Es wird dies zweite Teilchen a_1 also nicht im Gleichgewicht sich befinden, sondern mit einer ge-

[1]) J. Plateau, Stat. exp. théor. d. liquides (Paris 1873).

[2]) W. Nernst, Theoretische Chemie (Stuttgart 1907) 59.

wissen Kraft nach unten gezogen werden, der es zwar nicht nachgeben kann, da ihm die unter ihm befindlichen Flüssigkeitsteilchen im Wege stehen; es werden so aber diese unter ihm befindlichen Flüssigkeitsteilchen einem von oben nach unten wirkenden Druck ausgesetzt, der, soweit man weiß, sehr stark ist, der sogenannte Binnendruck. Ein seitlicher Druck oder besser gesagt, Zug, auf das Teilchen wird nicht in Frage kommen. Anders dagegen, wenn es sich nicht um eine ebene Oberfläche handelt, sondern um eine gekrümmte. Abb. 4 soll uns dies verkörpern. Wir beobachten, daß a_2 jetzt auch einem seitlichen Zuge durch c_2 ausgesetzt ist, dem ein Ausgleich durch entgegengesetzte Wirkung nicht gegenüber steht. Für die andere Kreishälfte würde dieser Zug gleichfalls, nur nach anderer Richtung wirksam sein. Wir kommen so zu der

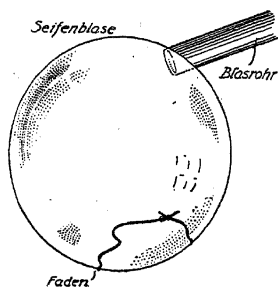
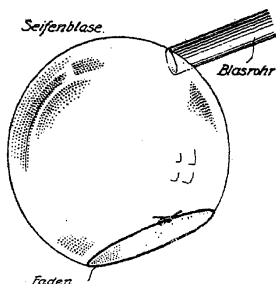



Abb. 5. Abb. 6.

Vorstellung gewisser, in der gekrümmten Oberfläche von Flüssigkeiten wirkenden Zugspannungen. Wollen wir die Oberfläche in solchem Fall vergrößern, so werden wir durch irgendwelche Aufwendung von Kraft diesen Zugspannungen entgegen zu wirken haben.

Ein Versuch lehrt uns vielleicht besser, als weitere Ausführungen, die Verhältnisse verstehen. Wenn wir auf eine Seifenblase, wie sie unserer Kinder hübsches Spielzeug sind, einen dünnen, zu einem Kreis verknoteten Faden legen, so wird er, die nötige Vorsicht vorausgesetzt, in schlaffem Bogen in der Haut der Seifenblase liegen. Sticht man nun den in dem Bogen befindlichen Teil der Blase mit einer erhitzten Nadel entzwei, so wird plötzlich das vorher schlaffe Fädchen zum Kreise gespannt. Denn die Oberflächenspannung[1]) wirkt jetzt nur noch von außen auf den

[1]) Zur Oberflächenspannung vgl. W. Nernst, Theoret. Chemie, 5. Aufl. 219 (Stuttgart 1907); F Pockels, in A. Winkelmann, Handbch. d Physik, 2. Aufl. 1 (2), 1123 (1908); H. Freundlich, Kapillarchemie 3, 4 u. f. (Leipzig 1909).

Faden, und spannt ihn daher, während innen nach dem Zerstechen auch die Oberflächenspannung für den vorher innerhalb des Fadens belegenen Teil der Blase fortfiel. Somit tritt die Oberflächenspannung für den außerhalb des Fadens belegenen Seifenblasenteil, dem keine Spannung in dem innerhalb liegenden Flächenstück mehr entgegen wirken kann, deutlich sichtbar hervor (vgl. Abb. 5 u. 6). — Man kann sich also die Größe der Oberflächenspannung vorstellen, wenn man überlegt, welche Kraft erforderlich sein würde, um bei Vergrößerung einer gegebenen gekrümmten Oberfläche den dabei sich widersetzenden, vorher dargelegten, seitlichen Zugspannungen entgegenzuwirken. — Auch auf andere Weise vermag man, die Oberflächenspannung dem Verständnis näher zu bringen. Ich führte vorher aus, daß bei einer ebenen Flüssigkeit die in der Oberfläche liegenden Teilchen mit sehr starker Kraft nach unten gezogen wurden, dem sogenannten Binnendruck. Dieser Binnendruck tritt auch bei Flüssigkeiten mit gekrümmten Oberflächen auf, ist aber je nachdem es sich um eine ausgehöhlte, oder aufgewölbte Oberfläche handelt, kleiner oder größer als bei einem entsprechenden Flüssigkeitsteil mit ebener Oberfläche. Der Unterschied zwischen den derart ungleichen Binnendrucken von sonst gleichen Flüssigkeiten mit ebener und mit gekrümmter Oberfläche wird die Größe der Oberflächenspannung in der gekrümmten Fläche wiedergeben. Hieraus geht schon deutlich hervor, erstens, daß gegenüber dem Binnendruck die Oberflächenspannung immer nur eine verhältnismäßig sehr kleine Größe darstellen wird, und zweitens, daß die Oberflächenspannung um so mehr steigen muß, je stärker die Krümmung der Oberfläche ist. Denn um so größer wird die Abweichung gegenüber einer ebenen Oberfläche, und natürlich auch damit der Unterschied zwischen den Binnendrucken der Flüssigkeit mit ebener und mit gekrümmter Oberfläche, der uns ja die Oberflächenspannung darzustellen vermag.

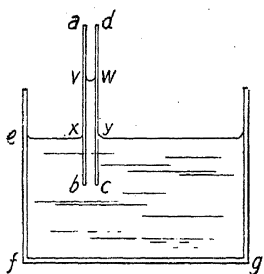



Abb. 7.

Diese Oberflächenspannung äußert sich nun auch in den bekannten, sog. Kapillaritätserscheinungen, welche Flüssigkeiten durch ihr Ansteigen in dünnen Röhren ergeben. Tauche ich eine dünne Glasröhre a b c d in ein großes Glasgefäß e f g h voll Wasser bis zu der Stelle x y (Abb. 7), so wird das Wasser die Röhre innen wie außen auch über das ursprüngliche Niveau des Wassers in dem Glasgefäß benetzen. Es würde sich also für

das Wasser im Innern der Röhre nun die Oberfläche axyd ergeben, die recht groß ist wenn man sie mit der Oberfläche vor dem Eintauchen dort, x y, vergleicht. In ihrem Bestreben, die Oberfläche zu verkleinern, hebt oder preßt nun aber die Oberflächenspannung das Wasser im Innern des Rohres empor, bis das Gewicht der so emporgehobenen Wassersäule. die hebende Kraft der Oberflächenspannung lahmlegt. Die Oberfläche des Wassers im Innern des Rohres hat sich so von a x y d durch die Wirkung der Oberflächenspannung auf a v w d vermindert. Entsprechende, nur umgekehrte Wirkungen der hier in Rede stehenden Kraft ergeben sich, falls die Flüssigkeit, wie Quecksilber, die Wandung des Glasrohres nicht benetzt, doch wird des beschränkten Raumes wegen hier nicht näher darauf eingegangen. Erwähnt sei hier noch, daß die Oberflächenspannung mit steigender Temperatur sinkt, sie betrug z. B. an der Oberfläche Wasser-Luft nach einer Zusammenstellung von L. Michaelis[1])

bei 0° C	75,49	in Dynen[2]) pro cm
10° C	74,01	
20° C	72,53	
30° C	71,03	
50° C	67,8	
80° C	62,3	

Außer der Oberflächenspannung und neben ihr, mit ihr auch in gewisser Hinsicht verknüpft, sind nun noch Kräfte elektrischer Art bei Kolloiden wirksam. Eingehende Erklärungen hierüber zu geben ist um so weniger möglich, als theoretische Kenntnisse der modernen Elektrochemie wie Elektrophysik beim Leser nicht vorausgesetzt werden sollen und der Umfang dieses nur gewissermaßen als Einleitung vorausgeschickten „Abrisses" gewisse Grenzen nicht überschreiten kann Auch in fachmännischen Kreisen wird man sich zudem noch über manche hier in Betracht kommenden Vorgänge nicht durchaus klar sein. Es sei daher für näheres Studium unter anderem auf H. Freundlichs wie L. Michaelis' Darstellung der kapillarelektrischen Erscheinungen[3]) verwiesen und hier nur ganz allgemein eine flüchtige Skizzierung versucht.

Geläufig werden allgemein von der Schule her die beiden Begriffe der Berührungs- und der Reibungselektrizität sein, von denen die erste, also etwa die Erzeugung elektrischer Spannungsunterschiede in der Batterie

[1]) L. Michaelis, Dynamik d. Oberflächen (Dresden 1909) 8.

[2]) Nähere Erklärung dieses Maßes würde hier zu weit führen. Es genügt, die Zahlen zu vergleichen.

[3]) H. Freundlich, Kapillarchemie, 184. L. Michaelis, Dynamik d. Oberfl., 37.

einer elektrischen Klingel oder eines Telegraphen oder Fernsprechers, durch Wirkungen chemischer Art — z. B. Auflösen eines Metalles in Säure — bedingt ist. Die Reibungselektrizität bietet uns die anziehende Wirkung eines Gummifederhalters oder einer Siegellackstange auf kleine Papierschnitzelchen, wenn man den Gummi oder Lack vorher mit einem wollenen Tuche trocken recht stark gerieben hat. Hier wäre also letzten Endes Bewegung die Ursache.

Beide Arten der Veranlassung von Spannungsunterschieden elektrischer Art finden wir bei unsern Kolloiden wieder; die einen, die chemischen, spielen sich ja ohnehin überhaupt in Oberflächen ab, da z. B. die Wirkung einer Säure auf ein Metall mit den dabei auftretenden elektrischen Spannungsunterschieden natürlich nur dort in Frage kommen kann, wo Säure und Metall sich berühren, an ihren Oberflächen. Da nun ferner nach Wi. Ostwald[1]) elektrische Spannungsunterschiede überall bestehen, wo zwei verschiedene Stoffe aneinandergrenzen, so wird das Auftreten solcher Spannungsunterschiede demnach überhaupt für Oberflächen charakteristisch sein, wobei allerdings die Bedeutung der auf diesem Wege entstehenden elektrischen Kräfte eine äußerst wechselnde sein kann, je nach dem Stoffe der Oberflächen und anderen Umständen. Für die Kolloide finden wir nun hier einen bereits oben als hochbedeutsam gekennzeichneten Umstand wieder: das Zurücktreten der Masse eines einzelnen Teilchens. Je mehr die Masse sich so im Vergleich zur elektrischen Ladung des Einzelteilchens vermindert, um so mehr wird das Kolloid den Ionen[2]) ähnlich werden, um so bedeutungsvoller werden sich die elektrischen Kräfte betätigen.

Die an Bewegung geknüpften elektrischen Spannungsunterschiede zeigen sich in dem hier in Frage kommenden Sinn, indem sehr feine, durch eine Flüssigkeit hindurchfallende Teilchen Spannungsunterschiede zwischen Flüssigkeit und Teilchen auftreten lassen. Ebenso kann umgekehrt die Einwirkung von elektrischer Spannung solche Teilchen nach bestimmter Richtung in Bewegung setzen. In ähnlicher Weise wird durch Zerstieben von Wassertropfen auf einer Flüssigkeitsfläche etwa wie beim auf Wasser fallenden Regen, ein Spannungsunterschied zwischen Flüssigkeit und über ihr befindlicher Luft, mit anderen Worten, elektrische Ladung der Flüssigkeit herbeigeführt.

---

[1]) Wi. Ostwald, Lehrb. d. allgem. Chemie, 2. Aufl. **2** (1), 553 (1903).

[2]) Ionen sind die stark elektrisch geladenen Teilchen, in welche nach neuerer Anschauung zum Beispiel die Salze, etwa das Kochsalz; bei Auflösen in Wasser zerfallen. Ihr Vorhandensein ist bedingend für die Mehrzahl der uns bekannten chemischen Reaktionen.

Daß weiter die optischen Erscheinungen in Gestalt des Tyndallphänomens und dessen Ausbau zur Ultramikroskopie für die kolloidchemische Forschung eine nicht geringe Bedeutung besitzen, ging aus früheren Mitteilungen hervor. Hier dürfte die weitgehende Kleinheit der Teilchen und ihre große Anzahl in gegebenem Raum entscheidend wirken. Von für uns maßgebender Bedeutung sind aber wesentlich die Oberflächenspannung und die elektrischen Spannungsunterschiede feiner Teilchen. Wie beide sich wesentlich betätigen und dadurch zu den eben an Kolloiden auffallenden Erscheinungen Anlaß geben, sei nun ausgeführt.

Die Betätigung der an Kolloiden wirkenden Kräfte.

Wir beginnen mit den von der Oberflächenspannung ausgehenden Erscheinungen, müssen aber hervorheben, daß sich auch hierbei schon häufig elektrische Wirkungen äußern werden. Zunächst sei die mechanische Zusammenballung[1]) feinster Teilchen in Kolloiden besprochen; ihr wird später, bei Behandlung der Elektrizitätswirkungen, die für uns in Betracht kommen, eine Zusammenballung durch elektrische Spannungsunterschiede gegenüberzustellen sein.

Die in einer Zerteilung vorhandenen sehr kleinen Teilchen werden durch die an ihren Oberflächen tätigen Spannungen zum Zusammenschluß gedrängt, da die Oberflächenspannung ja die Oberfläche zu vermindern strebt, was natürlich durch Aneinanderlagern von Teilchen erfolgt, ebenso wie Trennung eines größeren Stückes in Teilchen die Oberfläche vergrößert. Auch die Oberflächen der den Teilchen etwa anhaftenden Wasserhüllen werden hierfür vielleicht Bedeutung besitzen.

Einer solchen Zusammenlagerung, einem Übergang aus dem scheinbaren Lösungs-, dem „Sol"zustand, zur Ausflockung, dem „Gel"zustand, wirken aber mannigfaltige Umstände entgegen. So ist es die sog „innere Reibung", mit anderen Worten, die Zähigkeit des Verteilungsmittels, welche die Annäherung der Teilchen aneinander erschwert; ferner eine größere Entfernung der Teilchen voneinander, die natürlich ihrer Zusammenlagerung erhebliche Hindernisse bietet. Die weiter unten näher zu besprechende Bildung verdichteter Hüllen des Verteilungsmittels um die Einzelteilchen, durch Adsorption hervorgerufen, kann wohl auch hierbei eine bedeutsame Rolle spielen.[2])

Durch mechanische Einflüsse werden diese Hindernisse unter Um-

[1]) Statt Zusammenballung sind auch die Ausdrücke „Ausflockung", „Koagulation" und ähnliche gebräuchlich.

[2]) Vgl. 244, 252, 263 und a. a. O

ständen beseitigt, und so der Wirkung der Oberflächenspannung freie Bahn gegeben.

Hier ist zunächst die Annäherung der Teilchen aneinander hervorzuheben. Sie kann auf mehrfache Weise vor sich gehen, einmal durch Entzug des Verteilungsmittels, wie z. B. durch Konzentrieren auf dem Wege der Erwärmung[1]; oder durch sogenanntes „Aussalzen" [2], wobei Flüssigkeit durch das zugegebene Salz entzogen wird, wie auch durch teilweises Gefrieren, wobei sich zunächst reines Wasser in Eis verwandelt; [3]) endlich derart, daß durch gesteigerte Verdunstung bei gewöhnlicher Temperatur das Verteilungsmittel vermindert wird. Der Erfolg ist in jedem Falle der gleiche. Die Zahl der Teilchen in gleichen Raumteilen des Verteilungsmittels erhöht sich, sie werden einander näher gebracht und neigen in erhöhtem Maße zur Zusammenballung[4]. Umgekehrt vermindert ja, wie bekannt, Verdünnung das Streben der Kolloide zur Zusammenballung, eine Beobachtung, mit deren Erklärung sich bereits vor über 25 Jahren E. Grimaux[5] beschäftigte. Ähnlich ist eine Annäherung möglich, wenn mechanische Eingriffe die Teilchen ohne Verminderung des Verteilungsmittels in demselben stark umherschleudern; man denke an den Vorgang des Butterns. Es werden dann mehr oder weniger häufig Teilchen zusammenprallen und sich vereinen. Daß allerdings dieser Fall voraussichtlich weniger Bedeutung besitzen wird als der vorerwähnte der Verminderung des Verteilungsmittels, geht bereits daraus hervor, daß bei der letzteren alle Teilchen einander näherrücken, bei mechanischem Schütteln oder anderweitigem Bewegen nur ein gewisser Teil. Kommt zum Schütteln die Bildung neuer Oberflächen, wenn z. B.

[1]) So weist z. B. J. Alexander darauf hin, daß typisch reversible Kolloide, also solche der Tröpfchenart, unlöslich gemacht werden können, indem man ihren Teilchen gestattet, sich zu sehr zu nähern. Es sind z. B. Leim und Gelatine, wenn man sie zwei Stunden lang bei 130—150° „übertrocknet", in kochendem Wasser unlöslich, Journ. Soc. Chem. Ind. **28**, 280 (1909).

[2]) Inwieweit bei diesen Vorgängen noch andere Faktoren mitsprechen sei dahingestellt. Vgl. noch Wo. Ostwald, Grundriß d. Kolloidchemie, 1. Aufl. (1909) 454; H. Freundlich, Kapillarchemie (1909) 420; R. Zsigmondy, Kolloidchemie (1912) 240.

[3]) Vgl. H. Molisch, Untersuch. üb. d. Erfrier. d Pflanzen (Jena 1897); ferner P. Ehrenberg, Mitteil. landwirtsch. Instit. Univers. Breslau **4**, 453 Heft 3 (1908).

[4]) H. Quinke, Ann. Phys., IV. Folge **9**, 969 (1902). L. Vanino u. F. Hartl, Ber. Deutsch. chem. Ges. **37**, 3623 (1904). W. Ramsden, Zeitschr. physik. Chem. **47**, 336 (1908). E. W. Hilgard, Amer. Journ. Science Arts **6**, 290 (1873). E. F. Buxton, Koll.-Zeitschr. **5**, 141 (1909). Vgl. auch oben 463.

[5]) E. Grimaux, Compt. rend. **98**, 1578 (1884).

Schaum entsteht, hinzu, so wird die Wirkung natürlich wesentlich verstärkt.[1]) Wichtig scheint hierbei auch die Größe der Teilchen zu sein.

Auf Verminderung der inneren Reibung, der Zähigkeit, wirkt die Wärme hin, wie man das ja so gut bei Flüssigwerden der zähen Melasse durch Wärme beobachten kann. Das gleiche tritt auch bei anderen Flüssigkeiten ein, — die innere Reibung des Wassers ist z. B. bei 0° etwa doppelt so groß wie bei 25° — und wenn auch die Oberflächenspannung ebenfalls mit zunehmender Temperatur abnimmt, so scheint doch die Wirkung der Zähigkeitsverminderung zu überwiegen.[2]) Umgekehrt ist die Sachlage bei Temperaturverminderung, sowohl Zähigkeit des Verteilungsmittels wie Oberflächenspannung steigen, solange kein Gefrieren eintritt. Falls man nach dem eben erwähnten Verhalten bei Erwärmung einen Schluß ziehen darf, so würde hier die Vermehrung der Zähigkeit das Ausschlaggebende und ein Ausfallen demnach nicht zu erwarten sein; allerdings kommt noch hinzu, daß eine Reihe von Kolloiden, und zwar solche der Tröpfchengattung, beim Zusammenballen Wärmeentwicklung zeigen;[3]) demnach muß dann dieser Erscheinung eine niedere Temperatur, welche das Abgeben von Wärme begünstigt, förderlich sein. — Damit sei die Behandlung der hier in Frage stehenden, sehr verwickelten Verhältnisse abgebrochen, nicht erledigt. Daß auch das Einbringen gröberer Teilchen zusammenballend auf Kolloidlösungen wirken kann, sei noch kurz erwähnt. Es wird auch noch weiter unten nähere Betrachtung finden.

Nur auf einen Fall dürfte noch gesondert hinzuweisen sein, wenn er sich auch im wesentlichen mit dem mechanischen Näherbringen der Teilchen durch Entzug des Lösungsmittels deckt und daher bereits dort zum Teil gewürdigt worden ist: der Einfluß stärkeren Frostes. Tritt in einer wässrigen Zerteilung Gefrieren in dem Maße ein, daß völliges Erstarren erfolgt, so werden außer der erwähnten Wasserentziehung auch noch sehr starke Druckwirkungen auftreten. Einmal, weil das Wasser beim Gefrieren sich ausdehnt, zweitens aber, weil sich an die ursprünglich gebildeten Eisnadeln andauernd weiter Eis ansetzt, so daß sich große Kristalle bilden, wahrscheinlich den einzelnen Teilchen ihre Wasserhüllen mehr oder weniger entziehen und die derart weitgehend vom Verteilungsmittel befreiten Teilchen zusammenpressen.[4]) Je

[1]) Vgl. unten 23, 321; R. Zsigmondy, Zeitschr. Elektrochem. **22**, 102 (1916).

[2]) W. Spring, ferner S. E. Linder u. H. Picton, vgl. H. Freundlich, Kapillarchemie 369.

[3]) E. Wiedemann u. Ch. Lüdeking, Wiedemanns Ann. **25**, 145 (1885).

[4]) H. Molisch, Untersuch. üb. d. Erfrier. d. Pflanzen (Jena 1897). Vgl. unten 513, Anm. 2.

nachdem diese Wirkungen sich kräftig geltend machen oder nicht, auch Steigerung durch andere Umstände hinzutritt,[1]) wird Frost auf die Zusammenballung von in einer Flüssigkeit verteilten Teilchen stärkeren oder schwächeren Einfluß ausüben. Die letzterwähnten Druckwirkungen dürften vielfach die Zusammenballung so weit führen, daß ein Wiederverteilen bei Beseitigung des Frostes vollständig ausbleibt,[2]) worüber noch später zu sprechen sein wird.

Weniger wichtig als die mechanische Zusammenballung ist der Einfluß der Oberflächenspannung, der sich in der Änderung des Dampfdruckes sowie des Schmelz- bzw. Gefrierpunktes zeigt. Die letzten beiden Werte zeigen sich unter der genannten Einwirkung herabgesetzt, wobei allerdings das Mengenverhältnis von Verteilungsmittel zu verteiltem Stoff einen großen Einfluß zu besitzen scheint. So zeigt sich wenigstens in kolloiden Lösungen vielfach fast keine oder nur eine sehr geringe Erniedrigung des Gefrierpunktes. In anderen Fällen aber, wenn die Teilchen in besonders großen Mengen vorhanden sind, tritt die Erniedrigung deutlicher auf; vielleicht spielen hier bereits Momente der erst noch zu behandelnden Oberflächenwirkung, die wir unter Adsorption verstehen, hinein. Jedenfalls konnte H. Müller-Thurgau[3]) feststellen, daß von Filtrierpapier festgehaltenes Wasser erst bei — 0,1° gefror, P. Bachmetjew[4]) für von Ton aufgesaugtes Wasser einen Gefrierpunkt von —0,7° ermitteln. H. W. Foote und B. Saxton[5]) fanden, daß in Lampenruß zurückgehaltenes „Kapillarwasser“ erst bei —28° in Eis überging, während Wasser in Filtrierpapier wie bei H. Müller-Thurgau nur sehr geringe derartige Abweichungen aufwies. Ähnlich wie Lampenruß verhielt sich Tonerdegel. O. Rahn, C. W. Brown und L. M. Smith teilen endlich mit,[6]) daß in ungesalzener Butter festgehaltenes Wasser selbst bei — 6° noch flüssig war. Im letztgenannten Falle, wie wohl auch bei dem Ton, ist freilich der Gedanke an eine Salzwirkung nicht völlig auszuschließen. Außerdem leitet die von O. Rahn mitgeteilte Beobachtung, da Feststellung des Gefrierpunktes nicht stattfand, von den Fällen,

[1]) So Gehalt an Salzen, die „stabilisierend“ wirken; A. Lottermoser, Zeitschr. phys. Chem. **60**, 462 (1907); Ber. Deutsch. chem. Ges. **41**, 3976 (1908); unten 31, 34, 57.

[2]) Vgl. dazu die bei H. Freundlich, Kapillarchemie 369, angeführte Literatur und seine Bemerkungen ebendort.

[3]) H. Müller-Thurgau, Landw. Jahrb. **9**, 176 (1880).

[4]) P. Bachmetjew, Zeitschr. wiss. Zool. **66**, 584 (1899).

[5]) H. W. Foote und B. Saxton, Journ. Chem. Soc. **38**, 588 (1916).

[6]) O. Rahn, C. W. Brown u. L. M. Smith, Zentralbl. Bakteriol. (2) **26**, 48 (1910).

bei denen eine tatsächliche Herabsetzung desselben vorliegt, weiterhin zu den Unterkühlungserscheinungen über, bei denen unter Umständen erheblich weit unter seinen Gefrierpunkt abgekühltes Wasser so lange flüssig bleibt, bis durch irgendwelche besonderen Umstände, Erschütterungen, Einbringen von „Keimen" von Eis usw., unter Ansteigen der Temperatur das Gefrieren plötzlich eintritt. So zeigten sich in den oben erwähnten Beispielen für die Tonkugel Unterkühlungen bis $-1{,}2^0$, für das Papier bis -3 und -4^0. Für solche Unterkühlungen in kapillaren Räumen mag man wohl mit Recht als Ursache den Mangel an Keimen für die Eisbildung geltend machen, der in verhältnismäßig eng begrenzten Raumteilen eher auftreten dürfte. Endlich finden wir auch, daß mit zunehmender Kleinheit Flüssigkeitströpfchen leichter verdampfen, um sich bei Gelegenheit zu einigen wenigen großen Tropfen zu verdichten,[1]) was auch darauf beruht, daß die Oberflächenspannung in sehr kleinen Teilchen einen maßgebenden Einfluß erlangt.

Ebenfalls eine Oberflächenwirkung stellt das Verhalten schwerer löslicher Stoffe beim Lösen dar; auch hier weisen stark zerkleinerte, feste Stoffe grobkörnigen gegenüber eine erheblich weitergehende Löslichkeit auf. G. Hulett[2]) konnte beim Schütteln einer normal gesättigten, mit groben Stückchen hergestellten Gipslösung die Konzentration durch mechanische Zerkleinerung der Teilchen um 5 ½% erhöhen, und entsprechende Ergebnisse sind auch noch von anderen Seiten erhalten worden.[3])

Ganz ähnlich, nur nach einer anderen Richtung liegend, erscheinen dann wieder Verhältnisse, bei denen das Einbringen von gröberen Teilchen in entstehende oder bereits gebildete Kolloidlösungen, bzw. andere Zerteilungen, das Auftreten von Zusammenballungen und damit Oberflächenverkleinerungen hervorrief; Wo. Ostwald spricht direkt von Übersättigungserscheinungen. Derartige Beobachtungen sind beim Gerinnen der Kautschukmilchsäfte gemacht worden[4]) und auch bei anderen Gelegenheiten.[5]) Hierher dürfte die bekannte Wirkung von Staub als Förderer der Nebelbildung gehören, auf die hier nicht näher eingegangen werden kann.[6])

---

[1]) Wi. Ostwald; Lehrbuch d. allgem. Chemie, 2. Aufl., II, **2**, 362; H. Freundlich, a. a. O. 46, wo auch noch weitere Literatur.

[2]) G. Hulett, Zeitschr. physik. Chem. **37**, 395 u. 406 (1901).

[3]) Derselbe, ebenda **47**, 357 (1904), und F. Kohlrausch, ebenda 625.

[4]) F. Eduardoff, Gummi-Ztg. **23**, 809 (1909). Für solche Zusammenballungsbeschleunigung von Milchsäften mögen vielleicht auch chemisch-enzymatische Ursachen mit in Betracht kommen.

[5]) Wo. Ostwald, Grundriß d. Kolloidchemie (Dresden 1909) 181.

[6]) Bekannt ist die unangenehme Erscheinung des Londoner Nebels, die mit dem massenhaft in die Luft entsandten Steinkohlenrauch zusammenhängt.

ebenso die fällende Wirkung von Sand auf Tonaufschwemmungen,[1] wie von Graphitpulver auf Kieselsäurekolloide,[2] obwohl in den letztgenannten Fällen wohl Adsorptionserscheinungen, über die in dem sogleich folgenden Abschnitt eingehend zu sprechen sein wird, die überwiegende Bedeutung besitzen dürften.

Damit wende ich mich zur Besprechung der neben den Zusammenballungsvorgängen zweifellos wichtigsten mechanischen Wirkung der Oberflächenkräfte, der Adsorption. Man hat darunter die Fähigkeit der Oberflächen zu verstehen, sich gegen Stoffe, welche in die Gesamtmasse hineingelangen, anders zu verhalten, als die nicht zur Oberfläche gehörige innere Masse. Es kann so der neu hinzukommende Stoff in der Oberfläche sich anhäufen, dann spricht man von positiver Adsorption, oder sich umgekehrt in der Oberfläche in geringerer Menge ansammeln. als in der übrigen Masse, was als negative Adsorption bezeichnet wird. Wenn ich hier an ein bekanntes, freilich nicht besonders passendes Beispiel anknüpfen darf, so nenne ich die bekannte Ausbreitung von öligen Stoffen auf Wasser, wenn auch nur ein kleiner Tropfen in eine große Wassermenge gebracht wurde, oder die rasch vorübergehende, aber an obenaufschwimmenden Stäubchen oder Fasern gut zu beobachtende Wirkung eines Tropfens Seifenwasser, der in reines Wasser fällt.

Gerade in der landwirtschaftlichen und agrikulturchemischen Literatur ist bisher der Begriff Adsorption von dem der Absorption entweder gar nicht oder nicht dem heutigen[3] Sprachgebrauch der physikalischen Chemie entsprechend unterschieden worden. Ich bezeichne hier, wie auch bereits an anderem Ort,[4] im Gegensatz zu meinem eigenen früheren Verfahren, wie zum größesten Teil der landwirtschaftlichen Literatur, in der beide Ausdrücke vielfach in buntem Wechsel sich finden, nur Lösungen von Gasen in Flüssigkeiten oder festen Stoffen, welche wesentlich dem Henryschen Gesetz folgen,[5] als Absorptionen, alle anderen Erscheinungen, bei welchen eine große Oberfläche in irgendeiner Weise, unter Umständen auch chemisch, eine Rolle spielt, wie sie hier also in Frage kommen, als solche der Adsorption. Daß unter Adsorption die Anhäufung in Oberflächen, sei sie nun positiver oder negativer Art, im letzteren Fall also eine

[1] W. R. Williams, Forsch. Geb. Agrikulturphysik **18**, 263 (1895).

[2] Th. Graham, Compt. rend. **59**, 174, 1105 (1864); Zit. nach Koll.-Zeitschr. **1**, 15 (1906/07).

[3] allerdings auch recht unsicheren,

[4] P. Ehrenberg, Landwirtsch. Versuchsstat. **72**, 24 (1910).

[5] Sich also, wie etwa die Kohlensäure im Selterwasser, dem Druck entsprechend lösen.

Aussonderung aus Oberflächen, zu verstehen ist, war bereits gesagt. Die Adsorption zeigt sich bei Gasen, Flüssigkeiten und gelösten Stoffen; auch Kolloide und Aufschwemmungen werden ihr in wechselndem Umfange unterliegen. Die Veranlassung zur Adsorption, soweit wir sie hier überblicken können, liegt letzten Endes in den bereits oben besprochenen besonderen Eigenschaften der Oberflächen,[1]) wie sie sich auch in der Oberflächenspannung äußern. In einem solchen, von Oberfläche und inneren Raumteilen gebildeten System[2]) herrscht in der Oberfläche, wie erwähnt, eine gewisse Spannung, eben die Oberflächenspannung. Da somit kein Gleichgewicht der Spannung vorhanden ist, wird eine Neigung nach Ausgleichung der Unterschiede vorliegen, und dies Streben wird zu einer Erniedrigung der Oberflächenspannung führen, sobald sich dazu eine Gelegenheit bietet; diese ist zunächst bei einer chemisch reinen Flüssigkeit, etwa bei Wasser, nicht gegeben. Kommt aber in diese Flüssigkeit ein anderer Stoff, so ist zu erwarten, daß es zu einer positiven oder auch negativen Adsorption für die fragliche Oberfläche kommen muß, wenn durch einen solchen Vorgang die Oberflächenspannung erniedrigt werden kann. Da nun fast die sämtlichen in Frage kommenden Stoffe dem Wasser z. B. gegenüber entweder mit steigender Konzentration die Oberflächenspannung erhöhen, so die meisten anorganischen Salze,[3]) oder sie mit steigender Konzentration erniedrigen, wie viele organische Verbindungen,[4]) so wird folgendes eintreten müssen:

Das Streben geht, wie erwähnt, stets nach einer Verminderung der Oberflächenspannung. Stoffe, welche wie die erwähnten anorganischen Salze die Oberflächenspannung eines Mittels durch ihre Anhäufung in der Oberfläche erhöhen würden, werden sich aus diesem Grunde aus den Oberflächen aussondern und in den inneren Raumteilen des Mittels anhäufen. Im Gegenteil müssen jene Stoffe, deren vermehrte Anwesenheit in der Oberfläche ihre Spannung zu vermindern neigt, sich in dieser ansammeln, während die inneren Raumteile des Mittels daran verarmen. So wird durch das entgegengesetzte Verhalten der adsorbierten Stoffe, indem alle auf die Oberflächenspannung erhöhend wirkenden sich im Innern, alle die Oberflächenspannung vermindernden sich in der Oberfläche des Mittels ansammeln, stets die Oberflächenspannung so weit wie möglich herabgesetzt. Umgekehrt kann man auch sagen, daß das Bestreben nach Herabsetzung der Oberflächenspannung die erhöhend wir-

[1]) H. Freundlich, Kapillarchemie (1909) 50.
[2]) L. Michaelis, Dynamik der Oberflächen (Dresden 1909) 13.
[3]) H. Freundlich, a. a. O. 60.
[4]) Ebendort 63.

kenden Stoffe negativ, die erniedrigend wirkenden positiv in Oberflächen adsorbiert werden läßt. Das ist etwa der Inhalt des bekannten Theorems von W. Gibbs, das auf Grund thermodynamischer Überlegungen zunächst theoretisch abgeleitet wurde, aber durch außerordentlich viele Beobachtungen experimentelle Bestätigung fand.[1])

Auf eine andere Theorie der Adsorption von S. Lagergreen,[2]) die ich früher zu Erklärungen verwandt habe[3]) und die auf den durch Druck bedingten Konzentrationsänderungen beruht, will ich erst später am geeigneten Ort eingehen,[4]) um diesen theoretischen Teil nicht übermäßig auszudehnen.[5]) An Bedeutung scheint sie mir der Adsorptionstheorie nach W. Gibbs, die ich soeben besprach, für die allgemeine Kolloidchemie nicht gleich zu kommen,[6]) wohl aber sie für landwirtschaftliche Fragen wertvoll ergänzen zu können.

Da nun, wie oft ausgeführt, die Zerteilungen, in deren Gebiet sich unsere ganzen Auseinandersetzungen bewegen, über ganz besonders ausgedehnte Oberflächen verfügen, so liegt es auf der Hand, daß für sie die Adsorption von sehr großer Bedeutung sein wird. Allerdings muß ich diesen Satz noch ein wenig verbessern, indem ich auf eine allgemeine Eigenschaft derselben hinweise: handelt es sich um nur geringe Konzentrationen, in denen ein Stoff in eine Zerteilung eintritt und der Adsorption unterliegt, so kann bei positiver Adsorption die Wirkung zwar eine sehr erhebliche sein. Der theoretische Grenzfall wäre hier, daß der ganze Stoff sich in der Oberfläche anreichert. Anders liegt die Sache aber bei negativer Adsorption. Der hier anzunehmende äußerste Fall, daß die Oberfläche völlig an dem Stoffe verarmt, wird, in Anbetracht des geringen Raumes in der Oberfläche gegenüber dem großen Raum im Innern, doch in der Regel nur ein sehr geringes Steigen der Konzentration desselben in den inneren Raumteilen zur Folge haben. Das heißt mit anderen Worten: Die positive Adsorption kann Wirkungen sehr merkbarer Art hervorbringen, wogegen die negative Adsorption schon ihrer Natur nach zumeist nicht besonders deutlich hervortreten kann. In gleicher Richtung liegt die Erfahrungstatsache, daß die Wirkungen der

[1]) Wo. Ostwald, Grundriß d. Kolloidchemie (1909) 428.

[2]) S. Lagergreen, Bihang till K. Svenska Sv. vet. Akad. Handling. **24**, (2) Nr. 4 u. 5 (1898). Zit. nach W. Nernst, Theoretische Chemie, 5. Aufl. (Stuttgart 1907) 128.

[3]) P. Ehrenberg, Mitteilung. landwirtsch. Institute Univers. Breslau **4**, 173 (1907, Sonderdruck).

[4]) Unten 278 und folgende.

[5]) Auch andersartige Auffassungen von der Adsorption sind vertreten worden; vgl. T. B. Robertson, Koll.-Zeitschr. **3**, 2 (1908); vgl. ebenso weiter unten.

[6]) Vgl. dazu H. Freundlich, Kapillarchemie (1909) 283.

Adsorption in verdünnten Lösungen weit auffälliger sind als in konzentrierten, da im letzten Fall die inneren Raumteile des Mittels so reich an dem betreffenden Stoffe sind, daß die Anhäufung oder die Aussonderung aus der Oberfläche keine so großen Unterschiede verursachen kann.

Es seien nun noch einige, sich an die Adsorption anschließenden Erscheinungen besprochen.

Die Adsorption dürfte sich zwar recht schnell vollziehen, wird aber doch immerhin eine bestimmte Zeit erfordern, einmal für den Adsorptionsvorgang selbst, zweitens aber für die Heranschaffung der zu adsorbierenden Stoffe aus der Umgebung durch Diffusion. Hierdurch ist bedingt, daß die Eigenschaften einer Oberfläche sich mit Fortschreiten der Adsorption von deren Beginn bis zur Erreichung des endgültigen Zustandes dauernd verändern, ein unter Umständen meßbarer Vorgang, den man auch zur Erklärung des sog. „Alterns" der Oberflächen herangezogen hat. Daneben sind aber noch andere Ursachen für das Altern möglich,[1]) auf die zum Teil später am geeigneten Ort noch näher einzugehen sein wird, wie überhaupt viele der hier hervorgehobenen Erscheinungen später dort, wo sie für die Fragen landwirtschaftlicher Art von Bedeutung sind, noch einmal und an der Hand von Beispielen eingehender zur Abhandlung kommen werden. Hier sei nur, um darauf hinzuweisen, wie weitgehend Alterungsvorgänge die Eigenschaften eines Kolloids zu ändern vermögen, eine Beobachtung angeführt: „Das Berylliumhydroxyd altert und ist in seinem Jugendzustand chemisch von der stabilen Modifikation, der es zustrebt, auf das erstaunlichste verschieden. Während seine jüngste Form eine sehr voluminöse Masse darstellt, die begierig Kohlensäure anzieht, in Kaliumkarbonat, Ätzkali, Ammoniumkarbonat, Säuren leicht löslich ist, ist seine stabile Altersform körnig, wenig empfindlich gegen Kohlensäure, unlöslich in Kaliumkarbonat, fast unlöslich in Ammoniumkarbonat und verdünntem Ätzkali und schwer angreifbar durch Säuren."[2])

Eine weitere Folge der Adsorption ist, daß Zerteilungen, und darunter natürlich auch die Kolloide, zumeist, ja man kann wohl sagen, fast stets andere Stoffe adsorbiert haben werden. Sie bieten somit für die Gesamtanalyse nicht nur die chemische Zusammensetzung des Kolloides selbst dar, sondern dazu auch noch die der adsorbierten Stoffe. Das ist für

[1]) Sehr wahrscheinlich können auch Vergrößerung von Teilchen auf Kosten der anderen, ferner Änderung der Formart, etwa von flüssig zu fest, Veränderungen chemischer Art, Lösungsvorgänge und Kristallisationsvorgänge hierbei eine Rolle spielen, die je nach den Umständen eine verschiedene sein wird.

[2]) F. Haber u. G. van Oordt, Zeitschr. f. anorg. Chem. **38**, 380 (1904).

die analytische Behandlung von Fragen, bei denen Kolloide eine Rolle spielen, recht zu beachten.

Die sogenannte Schutzwirkung, welche manche Kolloide auf andere oder auch auf gröbere Aufschwemmungen[1]) ausüben, wird hier theoretisch zu klären sein. Auch für diesen Vorgang dürfte Adsorption das Wesentliche sein. Ein Körnchenkolloid etwa adsorbiert eine bestimmte Menge Tröpfchenkolloid, die sich bei verhältnismäßig gröberen Körnchenkolloidteilchen in der Oberfläche, also dort, wo Körnchen und Flüssigkeit aneinander grenzen, anhäuft. Das Körnchenkolloid wird so wie mit einer Hülle umgeben, die nach außen hin demnach statt des ursprünglichen Körnchenkolloids nur die darüber befindliche dünne Schicht von Tröpfchenkolloid in Erscheinung treten läßt. Kein Wunder, wenn unter solchen Bedingungen durch Zusatz von Tröpfchenkolloid zu einem Körnchenkolloid die Eigenschaften des letzten verschwinden und nur noch Tröpfchenkolloid vorhanden zu sein scheint. Sind die Kolloidteilchen aber sehr klein, so daß sie sich molekularen Größenverhältnissen nähern, so wird eine solche Umhüllung weniger wahrscheinlich sein, sondern mehr ein einfaches Aneinanderhaften der einzelnen Kolloidteilchen in Frage kommen. Da nun die Tröpfchenkolloide im allgemeinen größere Widerstandsfähigkeit gegen zusammenballende, ausfällende Mittel aufweisen, so machen sie als Zusatz auch die Körnchenkolloide widerstandsfähiger, oder, wie man zu sagen sich gewöhnt hat, sie üben eine Schutzwirkung auf sie aus.[2]) In besonderen Fällen kann auch ein leichter ausflockbares Kolloid auf ein anderes gewissermaßen eine negative Schutzwirkung ausüben, indem es dasselbe empfindlicher gegen Zusätze macht und seine Ausfällung stark beschleunigt. G. Wiegner hat auf solche Vorkommnisse hingewiesen.[3])

Ein eigentümlicher Vorgang bei der Adsorption von Stoffen, die einmal die Oberflächenspannung erniedrigen und dann besonders in höherer Konzentration eine starke Zähigkeit aufweisen, ist die Bildung von Häutchen an Oberflächen. Ich erinnere in dieser Richtung an die bekannte Bildung von Häutchen auf Suppen, die, auch wenn man sie oft

[1]) Vgl. z. B. W. Springs sehr interessante Versuche über Schutzwirkung von Seife auf Kienrußaufschwemmungen, Koll.-Zeitschr. **4**, 164 (1908); **6**, 166 (1910); dazu P. Ehrenberg u. K. Schultze, Koll. Zeitschr. **15**, 183, bes. 191 (1914).

[2]) So kann man nach J. Alexander, Journ. Soc. Chem. Ind. **28**, 280 (1909), das Kasein der Milch durch etwas Gelatine vor dem Ausfällen durch Säuren „schützen".

[3]) G. Wiegner, Kolloidchem. Beihefte **2**, 238 (1910/11).

entfernt, doch in geringer Zeit wieder auftreten.[1]) In ähnlicher Weise können sich solche Häutchen auch an Oberflächen von Zerteilungen bilden, wobei eben die Adsorption eine so starke Konzentrationssteigerung des adsorbierten Stoffes verursacht, daß er fest wird. Damit können wieder neue Oberflächen entstehen und ferner wird sowohl die starke Konzentrationsvermehrung wie sonstige Umstände auch auf chemische Veränderungen hinwirken.

Überhaupt muß man damit rechnen, daß durch Adsorption, zumal durch solche positiver Art, chemische Vorgänge stark gefördert werden. Zwar ist dies Gebiet noch reichlich ungeklärt, indes bedarf es nur des Hinweises darauf, daß sonst harmlose Stoffe, wie Getreidekörner und Kohlenstücke, in feinster Verteilung mit Luft, als Mehlstaub oder Kohlenstaub, gefährlich und explosiv werden, um vor Augen zu führen, wie die Oberflächenwirkung auch chemische Vorgänge, hier die plötzliche Verbrennung, zu fördern vermag. Wahrscheinlich üben die an den Oberflächen adsorbierten und verdichteten Gase, so in diesem Fall Sauerstoff, bei dargebotener Gelegenheit eine besonders starke Wirkung aus, wie ja mit verdichtetem Sauerstoff getränktes Kohlenpulver ein bekanntes Sprengmittel ist. — In vielen Fällen, und zwar gerade häufig in solchen, die für Land- und Forstwirtschaft wichtig sind, steht weiter die Adsorption in engstem Zusammenhang mit chemischen Vorgängen. Die katalytischen Wirkungen, ebenso die Tätigkeit der Enzyme dürften auch in der soeben erwähnten Richtung noch mancherlei Aufklärung erfahren können. —

Wir stehen hier am Schluß unserer Behandlung der mit mechanischen Einflüssen im weiteren Sinne in Beziehung zu bringenden Äußerungen von Oberflächenkräften; vor uns liegt der Übergang zur Besprechung der auf elektrischer Grundlage zu erklärenden. Da mag es angebracht sein, den Erscheinungen, die mit der Quellung zusammenhängen, einige Worte zu widmen.

Quellung wird als eine Mischwirkung oder Betätigung verschiedener Eigenschaften von Oberflächen anzusehen sein.

Im allgemeinen kann behauptet werden, daß Quellung nur bei den als Tröpfchenkolloide zu bezeichnenden oder ihnen nahestehenden Zerteilungen vorkommt, falls sie durch irgendwie geartete Wasserentziehung von der kolloiden Lösung über den Gallertzustand zu einem

[1]) G. Crome beobachtete solche Bildung von Häutchen auf wässrigen Humuslösungen, vgl. Boden u. s. Verhältn. z. d. Gewächsen 52 (Hannover 1812). Vgl. weiter F. Plogmeyer, Verhandl. Deutsch. physik. Gesellsch. **11**, 382 (1909); G. Nägel, Ann. Physik (4), **29**, 1029 (1909).

festen Körper geworden sind. Daß die Einzelvorgänge dabei uns noch weitgehend unbekannt sein können, ich denke z. B. an die Bildung des bekanntlich typisch quellbaren Holzes unserer Bäume, spielt dafür keine Rolle. Es kann übrigens auch ohne nennenswerten Wasserverlust aus der Lösung eines Tröpfchenkolloids sich ein Gallert bilden; denn wir finden hier vielfach einen ungeheuer steilen Anstieg der Zähigkeit mit sinkender Temperatur, so daß aus der Flüssigkeit in stetigem Übergang [1]) eine elastische, formbeständige Masse, eben ein Gallert wird; ich erinnere an den gewöhnlichen Tischlerleim oder an heißen, sich abkühlenden Stärkekleister.

Der innere Bau der Gallerten ist nach neueren Untersuchungen [2]) besonders R. Zsigmondys und seiner Schüler nicht waben- oder netzartig, wie man dies nach W. B. Hardy [3]) und O. Bütschli [4]) annahm; vielmehr schließen sich die feinsten Kolloidteilchen zu Flöckchen zusammen, die ihrerseits wieder gerade für das Ultramikroskop sichtbar erscheinen; diese Flöckchen bilden in fortschreitender Verdichtung des Gallerts größere Flocken, die sich unter Zusammenziehung festigen und dann durch Anlehnung an ähnliche Gebilde eine Art Gerüst bilden, dessen Feinheit immer noch so groß ist, daß es vielfach die Grenze der Wahrnehmbarkeit durch das Ultramikroskop kaum erreicht. Der Unterschied zwischen einem Kolloid im Solzustand und einem typischen Gallert ist hiernach bezüglich der Feinheit der Verteilung wohl wesentlich geringer, als man früher annahm. Wie man aus dem Vorhergehenden sieht, liegt auch hier, wie bei der oben schon geschilderten Zusammenballung, eine fortschreitende Entmischung der Zerteilung vor, nur daß wir es bei dem jetzt besprochenen Falle mit einem stetig verlaufenden Vorgang zu tun haben, während bei der Zusammenballung in kürzerer oder längerer Frist scharf einschneidende Veränderungen sich zeigten.

Trocknet nun das Gallert weiter ein, so können zwei Fälle eintreten.

[1]) Dies, der stetige Übergang, unterscheidet die Gallertbildung oder Gelatinierung von der Ausflockung oder Zusammenballung, der Koagulation, über die vorher schon gesprochen wurde. „Gel"-bildung wird für beides als Bezeichnung gebraucht.

[2]) R. Zsigmondy, Kolloidchemie (1912) 151, 249. Die Erklärung der Quellung, wie sie J. R. Katz, Zeitschr. physiol. Chem. **96**, 255 (1915/16), Kolloidchem. Beihefte **9**, 5 (1917) durch Bildung einer festen Lösung von Wasser im quellbaren Körper geben will, dürfte doch den ultramikroskopischen Studien nicht völlig gerecht werden. Man vgl. ferner E. Rosenbohm, Inauguraldissertation Erlangen (1913); derselbe, Kolloidchem. Beihefte, **6**, 181 (1914); L. Arisz, ebenda, **7**, 1, bes. 81 u. f. (1915).

[3]) W. B. Hardy, Zeitschr. physik. Chem. **33**, 326 u. f. (1900).

[4]) O. Bütschli, Untersuch. üb. mikrosk. Schäume u. d. Protoplasma (Leipzig 1892).

Entweder wird durch Veränderungen, Zusammenballungen in dem ja aus kolloider Masse bestehenden Gebilde die Elastizität der Grundmasse mit Fortschreiten des Austrocknens verringert, ohne später durch neue Wasseraufnahme in erheblichem Maße wieder zunehmen zu können, oder nicht. Im ersten Falle muß es wahrscheinlich früher oder später zu einem Starrwerden der Kolloidsubstanz kommen. Und bei weiterem Austrocknen füllen sich die dann bestehenbleibenden, äußerst kleinen und vielfach auch durch das Ultramikroskop noch nicht sichtbar zu machenden freien Raumteile im Gallert mit Luft. Sonst, wenn es sich um ein Gallert mit elastisch bleibender Grundmasse handelt, wird die Schrumpfung wohl noch erheblich weiter gehen und so den Wasserverlust durch Volumverminderung wieder ausgleichen. Zuletzt wird ein letzter Rest Wasser außerordentlich festgehalten; gelegentlich mag aber auch an Stelle des Wassers Luft aufgenommen werden. Wird ein Gallert, dessen Kolloidzusammenballungen starr geworden sind, nach dem Austrocknen wieder befeuchtet, so tritt eine erneute Auflockerung der Kolloidsubstanz nicht oder kaum ein, da eben Veränderungen stattgefunden haben, die nicht ohne weiteres wieder rückgängig gemacht werden können. Daher ist auch das eigentliche Aufquellen in diesem Fall kaum von Bedeutung.

Anders dagegen, wo die Elastizität der Masse nicht durch derartige Zusammenballungen und Veränderungen beeinflußt wird. Es fällt hier die Aufnahme von Luft in die Hohlräume wohl für längere Zeit fort, da die nachgiebigen Kolloidflocken der Masse sich mehr und mehr aneinanderlegen — die sog. „Schrumpfung" — und einen letzten kleinen Flüssigkeitsrest hartnäckig festhalten, andererseits findet aber bei Wasserzutritt zunächst eine Adsorption desselben, dann aber Wasseraufnahme in die Flocken und Flöckchen statt. Diese vergrößern und erweitern sich, geben so auch den zwischen ihnen liegenden Flüssigkeitsmassen wieder mehr Platz, so daß sie sich auch vermehren. Dabei lockern die Flocken sich gleichzeitig in ihrem inneren Gefüge. Wir wissen, daß die Grundlage dieses Gefüges kolloider Natur ist. Mit Fortschreiten der Quellung, und dies ist wohl ihr eigentlicher Sinn, nimmt die Verteilung der Substanz in diesen Wandungen wie in der dazwischen vorhandenen Flüssigkeit zu[1]) und

[1]) Wie hier nur kurz bemerkt sei, haben wir wohl bei den Tröpfchenkolloiden die Annahme zu machen, daß sowohl Tröpfchen wie Verteilungsmittel Lösungen darstellen, nur daß die Tröpfchen eine konzentriertere, das Verteilungsmittel eine verdünntere ist. So wäre z. B. das Tröpfchenkolloid Kieselsäure im Tröpfchen eine sehr konzentrierte Lösung von Kieselsäure in Wasser oder auch wohl eine Lösung von Wasser in Kieselsäure, im Verteilungsmittel dagegen eine sehr verdünnte Lösung von Kieselsäure in Wasser.

kann bei Unterstützung durch andere Umstände, wie etwa Steigen der Temperatur oder Zusätze von verteilend wirkenden Stoffen u. dgl., auch zu vollständiger kolloider Lösung führen.

Ebenso wie es Stoffe gibt, welche bei Zusatz auf Gallerten verteilend wirken, sind auch solche mit entgegengesetztem Einfluß bekannt. Und es entspricht nur den bereits gebrachten Ausführungen, daß man eine entsprechende Wirkung solcher Stoffe bereits bei der Bildung von Gallerten erwarten muß, die sich denn auch tatsächlich zeigt. Nur wirken natürlich hier z. B. die verteilenden Stoffe, die unter anderen Bedingungen das Quellen fördern, auf die Bildung des Gallerts hemmend.[1] So betätigen sich besonders basische Alkaliverbindungen vielfach als Mittel zur Steigerung der Quellbarkeit und hemmen andererseits die Bildung von Gallerten, wobei, wie auch in anderen Fällen, Adsorption mit der Quellung zusammengehen wird.

Wie weit bei dieser Wirkung bereits elektrische Einflüsse sich betätigen, mag augenblicklich nicht behandelt werden. Doch führt der so gegebene Zusammenhang von der Wirkung der Oberflächenspannung, die nach vielen Ansichten für die bisher besprochenen Erscheinungen die Veranlassung gab, zu den elektrischen Erscheinungen an Oberflächen über. Sie werden nunmehr zu behandeln sein, wobei vorher noch ausdrücklich betont sei, daß die hier von mir gewählte Trennung zwischen elektrischen Erscheinungen an Oberflächen und Oberflächenspannung eben nur der Übersichtlichkeit halber Berechtigung besitzt; denn sonst bedingen von den beiden genannten Erscheinungsgruppen oftmals die einen die anderen, und fast stets sind sie in vielfacher Weise verknüpft.

Von den elektrischen Erscheinungen an Oberflächen sind wohl die bedeutungsvollsten jene, in deren Gefolge Zusammenballungen auftreten. Im Gegensatz zu der früher besprochenen mechanischen Zusammenballung, wie sie als Folge der Annäherung der Teilchen auftrat, muß also hier von Vereinigung als Folge elektrischer Beeinflussung derselben die Rede sein.

In erster Linie tritt dabei der fällende Einfluß der Elektrolyten hervor. Bereits ganz geringe Mengen dieser, in wässeriger Lösung die Elektrizität gut leitenden Stoffe,[2] veranlassen bei Zusatz zu einer mehr der Körnchenart angehörenden Kolloidlösung oder einer gröberen Aufschwemmung von festen Teilchen in Wasser ein plötzliches Zusammenballen und Ausfallen der Teilchen. Umgekehrt vermögen be-

---

[1]) Vgl. auch das unten S. 59 über diese „stabilisierenden“ oder „aktiven“ Stoffe Gesagte. Es handelt sich wohl fast stets um geringe Mengen von Elektrolyten.

[2]) Wie ziemlich alle Salze, die meisten Säuren und Basen.

stimmte Elektrolyte wieder eine verteilende Wirkung auf etwa bereits ausgefällte derartige Kolloide auszuüben.

Um für beide Erscheinungen sowie auch für einige noch später zu besprechende Besonderheiten die klarlegenden Grundbegriffe zu bieten, muß hier auf die verschiedenen Möglichkeiten eingegangen werden, welche eine elektrische Ladung der Teilchen in einer Zerteilung, z. B. also einem Kolloid, bedingen können.

Bereits früher ist über die Adsorption von allerlei Stoffen gesprochen worden. Da nun die Elektrolyte bei ihrer Auflösung in Wasser sich in größerem oder geringerem Maße in ihre Ionen trennen, d. h. in Bestandteilspaare, die durch äußerst starke elektrische Anziehungskräfte zusammengehalten werden, sich aber sonst selbständig betätigen[1]), so liegt es nahe, daß auch diese Ionen an Oberflächen adsorbiert werden. Daß beide Ionen, die zusammengehören, auch gleich stark adsorbiert werden, müßte als besonderer Zufall gelten, es wird also eine Neigung zur Trennung der zusammengehörigen Ionenpaare herrschen. Andererseits hindert die elektrische Anziehung zwischen ihnen ihre weitgehende Entfernung voneinander. Aus diesen, sich entgegenwirkenden Bestrebungen ergibt sich — auf Näheres, wie z. B. die Bildung der elektrischen Doppelschicht dabei, kann hier nicht eingegangen werden — eine elektrische Ladung der Teilchen, welche Ionen adsorbiert haben.[2])

In dieser Weise, durch Adsorption, können also alle hier besprochenen Kolloide elektrische Ladung ihrer Teilchen besitzen. Und da gleichgeladene Teilchen sich abstoßen, wird diese Ladung die Verteilung vergrößern oder jedenfalls die Beständigkeit der Zerteilung erhöhen. Diese Ladung sollte nach älteren Anschauungen eine sehr kleine sein,[3]) während man sie neuerdings mit ziemlicher Sicherheit auf das Vielfache der Ladung eines einwertigen Ions berechnet.[4]) Andernfalls, wenn keine Spur von

[1]) So ist der Geschmack aller unserer Säuren, eben die „Säure“, durch das Wasserstoff-Ion bedingt, die rotviolette Farbe der Lösung von übermangansaurem Kalium durch das Permanganat-Ion, und weiter die Fähigkeit von Kalisalzen, mit Weinsäure, Platinchlorwasserstoffsäure und Überchlorsäure Fällungen zu geben, durch das Kalium-Ion. Den laugenhaften, seifenartigen Geschmack, den wir an der Soda, der Seife, an verdünnter Ätzkali- und Natronlösung wahrnehmen, bedingt ebenso wie die damit zusammengehende Blaufärbung von rotem Lackmuspapier das Hydroxyl-Ion, das die Gruppe OH' darstellt.

[2]) Für die nähere Darlegung dieser Verhältnisse sei außer der sonst hier und oben angegebenen Literatur hingewiesen auf J. Perrin, Journ. Chim. phys. **2**, 601, besonders 622, 631 u. f. (1904); ferner derselbe Autor ebendort **3**, 50 u. f. (1905).

[3]) J. Billitzer, Zeitschr. physik. Chem. **51**, 129 u. f. (1905).

[4]) R. Zsigmondy, Kolloidchemie (1912) 51.

Elektrolyt zugegen ist, was in den landwirtschaftlich wichtigen Fällen selten sein dürfte, kann doch eine elektrische Ladung der Teilchen zustande kommen, wenn entweder durch festliegende Teilchen sich Flüssigkeitsströme bewegen oder umgekehrt Teilchen in einer ruhenden Flüssigkeit dahinziehen, etwa durch sie hindurchfallen. Es laden sich in diesem Falle in reinem Wasser die meisten Stoffe, die sich nicht nennenswert lösen und dabei etwa in größerem oder geringerem Umfang doch zu Elektrolyten werden, negativ; positiv dagegen u. a. einige Oxyde, so Aluminiumhydroxyd und Eisenhydroxyd.[1]) Endlich können Kolloidteilchen in Wasser selbst Ionen entsenden und sich dadurch diesen entgegengesetzt laden, was schon J. Billitzer hervorhob.[2]) Entweder wirken sie wie Metallelektroden, indem sie wie in angesäuertes Wasser gebrachtes Zink Metallionen abgeben, oder der Vorgang muß der elektrolytischen Dissoziation eines Salzes von der Art des Kalziumsaccharats oder noch höher zusammengesetzter Verbindungen entsprechen, was vielleicht bei Humuskolloiden gelegentlich eine Rolle spielen kann.

Es werden demnach in äußerst vielen Fällen elektrische Ladungen der Teilchen vorhanden sein.[3])

Die Würdigung der elektrischen Spannungsdifferenz zwischen Teilchen und sie enthaltendem Verteilungsmittel gibt aber auch die Aufklärung für die fällende Wirkung von geringen Elektrolytmengen. Denn daß große Salzmengen direkt durch Entziehung des Verteilungsmittels fällend wirken können, wurde bereits oben erwähnt.

Man muß sich die Wirkung der Elektrolyten auch jetzt wieder aus den Einzelwirkungen der beiden, sie zusammensetzenden Ionen bestehend denken, was um so eher gestattet sein wird, als in erheblichen Verdünnungen, d. h. bei geringen Elektrolytzusätzen, womit wir es ja hier zu tun haben, der nicht in Ionen zerfallende Teil des Elektrolyten vernachlässigt werden kann. Wie noch beiläufig bemerkt sei, liegt es bei rein theoretischer Betrachtung sogleich nahe, an einen Einfluß der Wanderungsgeschwindig-

[1]) Über die hier vorliegenden Fragen vgl. G. Quinke, Ann. Phys. (4), 7, 37 (1902); H. Freundlich, a. a. O. 222, Wo. Ostwald, a. a. O. 231; A. Müller, a. a. O. 36; L. Michaelis, Dynamik d. Oberflächen (1909) 77 und andere.

[2]) J. Billitzer, Zeitschr. physik. Chem. **45**, 327 (1903); **51**, 129 (1905).

[3]) Auch verschiedene Adsorption der Ionen des Wassers, $H^{\cdot}$ und OH', vermag voraussichtlich bei unlöslichen Stoffen elektrische Ladung feiner Verteilungen hervorzurufen. Vgl. L. Michaelis, Dynamik d. Oberflächen (Dresden 1909) 71.

keit der Ionen,[1]) also ihrer schnelleren oder langsameren Bewegungsfähigkeit zu denken. Wenn von den Ionen eines Elektrolyten das eine wesentlich schneller wandert als das andere, so wird dies eher seine Wirkung auf die Teilchen des Kolloids äußern können, als sein langsamerer Genosse. So erklärt es sich vielleicht auch, daß bei Säuren und Basen mit einwertigen Ionen das Wasserstoff- bzw. das Hydroxylion einen vielfach entscheidenden Einfluß auf die Fällung besitzt.[2])

Dann aber muß natürlich die Wertigkeit des Ions, also seine Fähigkeit, ein oder mehrere Wasserstoff- oder andere einwertige Ionen an sich zu ketten, von grundlegender Bedeutung sein, da ja ein zweiwertiges Ion die doppelte, ein dreiwertiges die dreifache Elektrizitätsladung trägt und demgemäß wirken wird.

Der Einfluß der Ionen bei der Zusammenballung wird nun folgender Art sein:

Ist die elektrische Ladung der Teilchen durch Ionenadsorption verursacht worden oder durch andere der oben beschriebenen Ursachen, so kann nunmehr, wenn ein neuer Elektrolyt in bestimmter Menge hinzutritt, eine Adsorption der Ionen desselben stattfinden. Je nach Lage der Dinge kann dadurch die elektrische Spannungsdifferenz von Teilchen zur Flüssigkeit erhöht werden, dann wird das Kolloid widerstandsfähiger, unter Umständen noch stärker verteilt, — so wirken oft geringere Mengen von Hydroxylionen auf negativ, von Wasserstoffionen auf positiv geladene Kolloide. Oder es wird der Spannungsunterschied vermindert, dann sinkt die Beständigkeit des Kolloids, es beginnt einen geringeren Verteilungsgrad anzunehmen, um sich völlig zusammenzuballen und auszufallen, wenn der Elektrolytzusatz dazu groß genug war, wenn er den sog. Schwellenwert[3]) überschritt. Dies wäre ein Zusammenballen durch Ionenadsorption.[4])

[1]) Wanderungsgeschwindigkeiten bei 18° in reziproken Ohm von

$H^{\cdot}$	(Wasserstoffion)	329,8	OH'	(Hydroxylion)	174
$Na^{\cdot}$	(Natriumion)	43,55	$K^{\cdot}$	(Kaliumion)	64,67
$NH_4^{\cdot}$	(Ammoniumion)	64,4	Cl'	(Chlorion)	65,44
NO_3'	(Nitration)	61,78	CH_3COO'	(Azetation)	35,0

nach P. Kohlrausch, aus F. Förster, Elektrochemie wäßriger Lösungen (1905) 80. Der Punkt bei dem Atom- bzw. Molekülzeichen bedeutet positive, das Komma negative elektrische Ladung. Bei 25 ergeben sich z. B.; $Na^{\cdot}$ 50,98, $K^{\cdot}$ 74,49, Cl' 75,8; aber $H^{\cdot}$ 364,9 und OH' 219.

[2]) H. Bechhold, Zeitschr. physik. Chem. **48**, 392 u. 407 (1904).

[3]) G. Bodländer, Nachricht. Gesellsch. d. Wissensch. Göttingen (1893) 271.

[4]) H. Freundlich, a. a. O. (1909) 347.

Allerdings ist der Verlauf im einzelnen nach neuesten Forschungen R. Zsigmondys[1]) noch genauer darzulegen. Hiernach müssen wir annehmen, daß die Teilchen durch zwischen ihnen wirkende Anziehungskräfte zusammengezwungen werden. Ausreichende elektrische Teilchenladung läßt ihren Einfluß so lange wirkungslos bleiben, als sie vorhanden ist. Kommt es aber durch Ionenadsorption, aber auch unter Umständen natürlich ebensogut durch andere Wirkungen[2]) zur Herabsetzung der elektrischen Ladung der Teilchen, so müssen von einem bestimmten Grenzgebiet an die Anziehungskräfte die Überhand gewinnen, so daß es zur Vereinigung, zur Zusammenballung kommt.

Es ist sehr möglich, daß die oben über die Wirkungen der Oberflächenspannung auf die Zusammenballung geäußerten Ansichten künftig in dieser Richtung einer Abänderung unterliegen werden. Doch ist es wohl noch zu früh, vor weiterer Durcharbeitung der hier vorliegenden Verhältnisse schon jetzt in dieser Beziehung abschließend Stellung zu nehmen.

Welches von den beiden zusammengehörigen Ionen eines gegebenen Elektrolyten den endgültigen Erfolg bei der Einwirkung auf Kolloide davontragen wird, erhellt größtenteils aus den bereits gegebenen Erwägungen über Wanderungsgeschwindigkeit und Wertigkeit der Ionen.

Sehr deutlich zeigen sich diese elektrischen Wirkungen bei der Ausfällung von Kolloiden in von W. B. Hardy[3]) veröffentlichten Versuchen. Dieser Forscher fand bei dem elektronegativen Kieselsäuresol, wenn von den nachstehend aufgeführten Elektrolyten 1 g Mol auf 120000 ccm Wasser zugesetzt wurde, bei

$Al_2(SO_4)_3$ (mit 2 dreiwertigen, positiven Ionen) sofortiges Ausfallen;

$CuSO_4$, $CuCl_2$, $Cd(NO_3)_2$, $BaCl_2$ } (mit 1 zweiwertigen, positiven Ion) Ausfallen nach 10 Minuten;

K_2SO_4, Na_2SO_4 } (mit 2 einwertigen, positiven Ionen) Ausfallen nach 24 Stunden;

NaCl (mit 1 einwertigen, positiven Ion): nach 24 Stunden noch flüssig.

[1]) R. Zsigmondy, Nachr. Gesellsch. Wissensch. Göttingen, Math. phys. Klasse, 1 (1916).

[2]) Ebenda, 32/33, 40 u. f.

[3]) W. B. Hardy, Zeitschr. f. physik. Chem. **33**, 326 (1900).

Dagegen ergab das elektropositive Ferrihydroxydsol, wenn 1 g-Mol auf 100000 ccm zugesetzt war:

$Al_2(SO_4)_3$ (mit 3 zweiwertigen, negativen Ionen) Ausfall sofort;

$CuSO_4$
$MgSO_4$
K_2SO_4
Na_2SO_4
(mit 1 zweiwertigem, negativem Ion) Ausfall sofort;

$CuCl_2$
$Cd(NO_3)_2$
$NaCl$
$BaCl_2$
(mit 2 bzw. 1 einwertigem, negativem Ion) kein Ausfall.

Es ergibt sich hiernach die freilich nicht überall zutreffende[1]) Hardysche Wertigkeitsregel, nach der für die Wirkung des fällenden Ions seine Wertigkeit von größter Bedeutung ist.

Vereint mit der fällenden Wirkung ist bei diesen Äußerungen der elektrischen Kräfte der Ionen auf Kolloide noch meist ein Niederreißen des fällenden Ions in die Zusammenballung, so daß die Lösung daran verarmt. Und die Theorie ergibt, daß derartiges auch erwartet werden muß. Da nun aber die elektrischen Anziehungskräfte es verhindern, daß Ionen sich in weiterem Umfange trennen, wenn nicht andere als Ersatz eintreten, so ist anzunehmen, daß bei Zusammenballung durch Ionenadsorption und desgleichen das fällende Ion mit dem einen der bereits vorher adsorbierten und so die ursprüngliche Ladung bedingenden zusammen in die Zusammenballung übergeht, das nichtfällende mit dem anderen bereits vorher adsorbiert gewesenen in die Flüssigkeit übertritt. Entsprechend wird der Fall liegen, falls die Teilchen selber Ionen in die Flüssigkeit ausgesandt haben, das fällende Ion tritt an die Teilchen, neutralisiert sie unter Verlust seiner Ladung und fällt mit ihnen aus, während das nichtfällende Ion mit den ausgesandten Ionen in der Lösung bleibt. Unter Umständen werden wohl auch trotz ihrer geringen Menge die Ionen des Wassers hierbei eine Rolle übernehmen. Wichtig und zu beachten ist hier, daß Ausflockung bzw. Zusammenballung durch Ionenwirkung mit einer Aufnahme von Ionen vereinigt ist. Wir werden später sehen, daß umgekehrt Flockenbildung, Krümelbildung im Ackerboden vielfach an das Vorhandensein bestimmter Ionen gebunden erscheint. —

Nachzutragen ist noch, daß auch durch elektrische Wirkungen anderer Art Zusammenballungen veranlaßt werden können; so wurden durch Beta-Strahlen des Radiums die positiven, nicht aber die negativen Kolloide

[1]) Vgl. besonders J. Duclaux, Journ. Chim. Physic. 5, 29 (1907).

gefällt.[1]) Weiter wird eine im allgemeinen wenig bedeutungsvolle Zerteilung, der Rauch, durch elektrische Spitzenentladungen zur Zusammenballung gebracht.[2]) An Nebeln sind ähnliche Erscheinungen zu beobachten. Auch hier dürfte es sich um Beseitigung elektrischer Teilchenladungen handeln.

Unter den Möglichkeiten für die elektrische Ladung von Teilchen erwähnte ich oben, daß festliegende Teilchen durch an ihnen vorbeipassierende Flüssigkeitsströme sich aufladen, bewegliche aber durch das Hindurchfallen durch eine Flüssigkeitssäule. Es liegt nahe, daß umgekehrt elektrische Ladung festliegender Teilchen Flüssigkeitsströme erzeugen oder ein elektrischer Strom in einer Flüssigkeit befindliche Teilchen in Bewegung versetzen kann; handelt es sich doch nur um eine Umkehrung des Vorganges. Besonders dieser letzte Umstand, die Bewegung von Teilchen in einem elektrischen Felde, die sog. Kataphorese oder elektrische Wanderung, kann auch für landwirtschaftliche Zwecke einmal Bedeutung gewinnen, wenn es sich um Entwässerung kolloider Stoffe handelt. Derartige Versuche liegen bereits für Torf,[3]) Rübenbrei u. dgl. vor.

Endlich, mit der soeben gewürdigten Erscheinung nahe verwandt, tritt noch elektrische Ladung auf, wenn Tropfen auf eine Wasserfläche auffallen, also u. a. bei Regen.[4]) Es kann so auch durch diesen, abgesehen von mechanischen Einwirkungen, ein elektrischer Einfluß ausgeübt werden, über den ebenfalls später noch einiges gesagt werden soll; um die Erscheinung der Auffassung näher zu bringen, sei an die störende Wirkung von Hagel auf den Fernsprechbetrieb erinnert.

Daß unter Umständen sich die elektrischen Wirkungen, z. B. die der Zusammenballung durch Elektrolytzusatz, mit anderen Einflüssen vereinen können, liegt nahe. So wird etwa ein Elektrolyt, dessen Konzentration noch nicht den Schwellenwert erreicht und daher noch nicht zusammenballend wirken kann, durch Verdunstung des Lösungsmittels infolge von Temperaturerhöhung oder anderen Gründen, sowie besonders

[1]) V. Henry und A. Mayer (Frankreich), Compt. rend. Soc. Biologie **57**, 33 (1904). Zit. nach Biolog. Zentralblatt (1905) 3. Weiter A. Fernau und W. Pauli, Koll. Zeitschr. **20**, 20, bes. 32 (1917).

[2]) R. Nahrwold, Ann. Phys. **5**, 460 (1878); J. Aitken, Nature **29**, 322 (1884); O. J. Lodge, ebendort **31**, 265 (1884); A. von Obermeyer und M. von Pichler, Ber. Wiener Akad. Wiss. **93**, 408 (1886); H. Freundlich, a. a. O. 306. Vgl. ferner unten 232.

[3]) Vgl. das Verfahren des Grafen B. v. Schwerin, Koll.-Zeitschr. **1**, 150 (1906).

[4]) J. Elster und H. Geitel, Sitzungsber. d. math. naturw. Klasse d. Kais. Akad. d. Wiss. **99** (IIa), 421 (1891). Ferner H. Freundlich, a. a. O. 255.

auch durch Frost, wobei langsamere Temperaturerniedrigung zunächst reines Wasser zum Ausfrieren bringt und die Konzentration der flüssig bleibenden Salzlösung sich rasch vermehrt, den Schwellenwert überschreiten und dann wirksam werden können.

Damit dürften die wesentlichsten Erscheinungen gewürdigt sein, soweit sie hier Bedeutung beanspruchen können; daß für Zusammenballungen auch z. B. durch Temperaturerhöhung hervorgerufene chemische Veränderungen, wie man sie wohl allgemein für die Hitzegerinnung des Eiweißes annimmt,[1]) Bedeutung besitzen können, wie daß auch durch Lichtwirkung Zusammenballung einzutreten vermag,[2]) sei hier nur flüchtig gestreift. Endlich ist auch zu erwähnen, daß ebenso wie Kolloide durch Elektrolyte ausgefällt werden, so auch Kolloide sich gegenseitig zur Fällung bringen, falls die wechselseitig wirkenden Mengen im richtigen Verhältnis stehen;[3]) man kann annehmen, daß sie ausfallen, wenn ihre elektrischen Ladungen gerade ausreichen, sich gegenseitig zu neutralisieren. Denn es fällen sich nur entgegengesetzt geladene Kolloide aus. Kommt es nicht zu einer Fällung, so können durch Adsorption die bereits oben erwähnten Schutzwirkungen eintreten.

Damit sei diese Einleitung beendet, ich gebe nur noch, teilweise die wichtigsten der besprochenen Tatsachen wiederholend, eine kurze Zusammenfassung.

Die Kolloide, wie die ihnen verwandten Gebilde, die sich durch Schweben feinst verteilter bis — innerhalb gewisser Grenzen — feiner Teilchen in einem anderen Stoffe kennzeichnen und dementsprechend außerordentliche Oberflächenentwicklung, sehr geringe Masse der Einzelteilchen, sowie außerordentlich große Anzahl derselben aufweisen, können unter dem Begriff der Zerteilungen zusammengefaßt werden.

Je nach den dabei aneinander grenzenden Oberflächen wird zu unterscheiden sein zwischen

Zerteilungen flüssig-gasförmig (wie Nebel, Schaum),

Zerteilungen fest-gasförmig (wie Rauch, Staub, manche ausgetrockneten Gallerten),

---

[1]) Vgl. aber B. Aronstein, Arch. gesamte Physiol. **8**, 75 (1874); W. Pauli, Koll.-Zeitschr. **1**, 104 (1906).

[2]) U. a. L. Michaelis, Beiträg. z. chem. Physiol. u. Pathologie **8**, 40 (1906); ferner W. R. Williams, Forsch. Geb. Agrikulturphysik **18**, 258, 262 (1895); G. Dreyer und O. Hanssen, Compt. rend. **145**, 234 (1907); A. Atterberg, Internat. Mitteil. Bodenkunde **3**, 314 (1913); A. Spangenberg, Dissertation (Darmstadt 1910) 18.

[3]) W. Biltz, Ber. Deutsch. chem. Ges. **37**, 1095 (1904).

Zerteilungen flüssig-flüssig (feiner Art, die Emulsionen; feinster Art, die Tröpfchenkolloide),

Zerteilungen fest-flüssig (feiner Art: die Aufschwemmungen; feinster Art: die Körnchenkolloide).

Ihrem ganzen Wesen, ihrer Verteilung und der Beschaffenheit ihrer Teilchen nach mehr zu den Tröpfchenkolloiden gehörig, stehen die Gallerten vor uns. Für ihre Entstehung ist nach W. Pauli[1]) das Vorhandensein von hochhydratischen Neutralteilchen, welche zueinander in die dem festen Zustand eigenen Wechselbeziehungen treten, eine notwendige Bedingung. Daß überhaupt Übergänge und Verbindungen jeder Art zwischen den angeführten Gruppen bestehen können, muß stets beachtet werden. Eine Besonderheit sei endlich noch hervorgehoben: Die theoretische und allgemeine Kolloidchemie hat bisher wesentlich, ja, man kann wohl sagen, ausschließlich die Erscheinungen und Gesetzmäßigkeiten behandelt, die bei Überwiegen des Verteilungsmittels und starkem Zurücktreten der Gesamtmasse der Teilchen sich ergeben. Im Gegensatz dazu kommt für die Erforschung der Bodenkolloide mehr der Fall zur Berücksichtigung, in dem viel zerteilte Masse in wenig Verteilungsmittel aufgeschwemmt und verteilt ist.[2])

---

[1]) A. Fernau und W. Pauli, Koll.-Zeitschr. **20**, 30 (1917).

[2]) Vgl. die gleiche Ansicht auch bei A. Atterberg, Koll.-Zeitschr. **20**, 7 (1917).

DIE BODENKOLLOIDE.

Nachdem bereits von verschiedenen Forschern die Aufmerksamkeit der Land- und Forstwirte ausdrücklich auf Einzelvorgänge im Erdboden gerichtet worden war, die wir heute als der Kolloidchemie angehörig bezeichnen,[1]) ist dann besonders wohl von Th. Schlösing d. Ä.[2]) und von J. M. van Bemmelen[3]) die Kolloidbeschaffenheit einer Reihe von Bodenbestandteilen klar erkannt und zur Grundlage wichtiger Schlüsse gemacht worden.

Heute, wo der Bodenforscher auf Grund vieler Erkenntnisse auf anderen Einzelgebieten der Kolloidchemie besser als früher in der Lage ist, sich einen Überblick über die Bestandteile des Bodens zu verschaffen, welche Kolloideigenschaften aufweisen, zweifelt wohl niemand[4]) mehr daran, daß der Boden des Waldes und Ackers, der Wiese und Weide größere oder geringere Mengen von Kolloiden enthält. Nur die Frage, um welche Kolloide es sich im einzelnen Fall handelt und dann besonders ihre Wirkungsweise und deren Bedeutung wird voraussichtlich noch lange Zeit strittig sein.

I. Die verschiedenen Bodenkolloide und ihre Eigenschaften.

A. Allgemeines.

Gehen wir zunächst auf die als Bodenkolloide zu bezeichnenden Bestandteile der Erde in Wald und Feld ein. Nützlich und gewisser-

[1]) Als erster Agrikulturchemiker, der auf „höchst bedeutungsvoll erscheinende Perspektiven nach dem agronomischen Gebiete hin" aufmerksam machte, sei Franz Schulze genannt; vgl. Jahrbüch. Akad. Eldena **1**, 328 (1848); Ann. Physik u. Chemie **205**, 382 (1866). Über Adsorptionsvorgänge im Boden gaben zuerst G. Gazzeri in seiner „neuen Theorie des Düngers" (1819), dann Raffo Lambruschini, Atti Geophili Firenze **9**, 330 (1830), und J. P. Bronner (1836) Hinweise. Bezüglich Gazzeris und Bronners vgl. A. Orth, Landw. Versuchsstat. **16**, 56 (1873).

[2]) U. a. Th. Schlösing d. Ä., Compt. rend. **74**, 1408 (1872).

[3]) J. M. van Bemmelen, Landw. Versuchsstat. **35**, 69 (1888).

[4]) Vergleiche allerdings die Angaben von A. Mitscherlich, Bodenkunde, 2. Aufl. (1913) 105, auf die noch einzugehen sein wird.

maßen ein Pfad auf dem neuen Gebiete mag es dabei sein, wenn wir die am Schluß der Einleitung gegebenen Unterschiede zwischen den verschiedenen Kolloidarten benutzen.

Zerteilungen flüssig-gasförmig sind für den Ackerboden so selten, daß man sie zunächst völlig ausschließen zu können glaubt. Nur bei längeren, heftigen Regengüssen zeigt sich Schaum auf dem das Land bedeckenden Wasser und gleichfalls in den kleineren und größeren Rinnsalen, die von höher gelegenen Bodenstücken herabstrudeln. Ohne eigentliche Bedeutung für die Beurteilung des Bodens, zeigt uns diese Schaumbildung, zu der ja sonst reines Regenwasser nicht neigt, daß sich Stoffe in dem Wasser lösen, die durch Herabsetzung der Oberflächenspannung[1]) und damit zusammengehende Adsorption einmal Schaum entstehen lassen, dann aber auch anderweit auf die Bodenbeschaffenheit werden wirken können. Im übrigen sei auf die Ausführungen über die Verschlämmung des Bodens weiter unten verwiesen.

Schon erheblich bedeutungsvoller als die soeben erwähnte Form von Zerteilungen ist die sich anschließende: fest-gasförmig.

Staub bildet sich teils ohne Zutun der Bodenbearbeitung, teils durch diese begünstigt. Wir werden zum wenigsten dabei unterscheiden müssen zwischen Staub, der wesentlich aus Mineralteilchen besteht, und solchem, der organischer Beschaffenheit ist, wie Torf- und Humusstaub, etwa auch Dreschmaschinenstaub im Komposthaufen und dergleichen.

Ausgetrocknete Gallerten werden wesentlich als solche organischer Natur, wie Humusteile, Teile von Stalldünger, Moorsubstanz, aber auch überhaupt trockener Pflanzenmasse in Betracht kommen. Es ist zwar nicht unwahrscheinlich, daß vielfach kleinste Bodenteilchen mineralischer Herkunft Gallerten darstellen und demnach auch ausgetrocknet im Wald- und Ackerboden vorkommen können; doch Genaues ist darüber wohl noch nicht zu sagen.

Wir wenden uns nun den beiden besonders wichtigen Zerteilungsformen zu, bei denen das flüssige Verteilungsmittel für die äußere Erscheinung bestimmend wirkt. Die Zerteilungen flüssig-flüssig, die hierher gehören, spielen mit ihren gröberen Abarten, den Emulsionen, nicht oder allenfalls nur bezüglich der Bakterienverteilungen im Bodenwasser eine Rolle. Außerdem mögen höchstens durch Menschenhand in die Erde gebrachte Stoffe, wie Karbolineumarten oder Schwefelkohlenstoff, einmal zu deren Bildung im Boden Anlaß geben.

[1]) H. Freundlich, Kapillarchemie (Leipzig 1909) 303.

Von allergrößter Bedeutung sind dagegen allem Anschein nach die feinsten Zerteilungen der Form flüssig-flüssig, die Tröpfchenkolloide. Es ist sehr wahrscheinlich und wird weiter unten zu begründen sein, daß hierher die im Boden auftretende kolloide Kieselsäure ebenso gehört, wie die kolloiden Humusstoffe und anderes, endlich auch die eigentliche Tonsubstanz, die nur einen geringen Teil des sog. Tones ausmacht, der „Kolloidton". Daß auch Organismenschleime und ebenfalls die Körpermassen von Tieren und Pflanzen, die für den Boden Bedeutung besitzen, hierher einzuordnen sind, ob sie auch im einzelnen viel Abweichungen aufweisen, mag ziemlich zweifellos sein.

Endlich sind die Zerteilungen der Form fest-flüssig zu nennen.

In ihrer gröberen Form, den Aufschwemmungen, sind sie von größter Bedeutung im Boden. Denn alle feineren Erdteilchen von 0,2—0,05 mm Durchmesser und weniger vermögen nach E. W. Hilgard[1]) bzw. A. Atterberg[2]) Aufschwemmungen mit ihren typischen Erscheinungen zu bilden.[3]) Dabei spielt es keine maßgebende Rolle, woraus diese Erdteilchen bestehen, obwohl ein gewisser Einfluß der Beschaffenheit, so z. B. des spezifischen Gewichts und der Löslichkeit, zweifellos vorhanden sein wird.

Die feineren Zerteilungen fest-flüssig, die Körnchenkolloide, werden in ihren reinen Formen im Erdboden nicht vorkommen. Dagegen treten als Übergangsformen zwischen Körnchen- und Tröpfchenkolloiden hier die Hydroxyde des Eisens und Aluminiums auf.[4]) Gelegentlich wird auch die zunehmende Verdünnung oder ein anderer Umstand die Anlehnung an die eine oder andere beider Klassen steigern, wie z. B. Eisenhydroxydkolloid in verdünnter Lösung als Körnchenkolloid aufgefaßt wird.[5])

Ebenfalls Übergangsformen zwischen Körnchen- und Tröpfchenkolloiden werden möglicherweise durch Einwirkungen auf Bodenbakterien entstehen,[6]) während diese ihrer Masse nach zu den Tröpfchenkolloiden, als Zerteilung in Wasser wohl zu den Emulsionen zu rechnen sind.[7])

Selbstverständlich werden auf all diesen Gebieten Übergangsformen

[1]) E. W. Hilgard, Forsch. Geb. Agrikulturphysik **2**, 443 (1879).

[2]) A. Atterberg, Landw. Versuchsstat. **69**, 93 (1908).

[3]) A. D. Hall und C. G. T. Morison bemessen die Grenze für typische Bodenaufschwemmungen sogar auf 0,004 mm Durchmesser. Vgl. Journ. of Agricult. Science **2**, 244 (1907/08). Hierüber auch noch später.

[4]) Vgl. H. Freundlich, Kapillarchemie (1909) 389.

[5]) Wo. Ostwald, Grundriß d. Kolloidchemie, 2. Aufl. (1911) 58.

[6]) H. Bechhold, Zeitschr. physik. Chem. **48**, 385 (1904). Agglutinin wirkt derart auf Bakterien ein.

[7]) H. Freundlich, a. a. O. 470.

eine erhebliche Häufigkeit besitzen, wie ja überhaupt schon nach der eingangs gebotenen Theorie des Kolloidzustandes eine scharfe Begrenzung nicht zu erwarten ist.

B. Besonderes.

Nach diesen allgemeinen Darlegungen seien die Bodenkolloide einzeln besprochen, da ihr Vorkommen wie ihre Eigenschaften noch näherer Darlegung bedürfen.

Die Bakterienverteilungen.

Daß Bakterien in ganz außerordentlichen Mengen im Boden vorkommen können, ist heutzutage wohl der Mehrzahl der praktischen Landwirte und Forstleute bekannt. Diese Kleinlebewesen finden ihrer großen Mehrzahl nach bei neutraler oder schwach basischer Reaktion ihr bestes Fortkommen, leiden dagegen unter saurer Beschaffenheit erheblich und treten dementsprechend in derartigem Boden zurück. Ebenso verlangen sie, die auf Bewegung im Wasser eingerichtet sind, genügende Feuchtigkeit, können aber vielfach Zeiten vorübergehender Trocknis ohne sonderliche Schädigung überstehen.

Wie schon die Tatsache, daß Bakterien wesentlich Wasserbewohner sind, erwarten läßt, werden sie bei ihrer so verschwindenden Größe[1]) den für in Flüssigkeiten verteilte kleinste Teilchen geltenden Gesetzen folgen. Da sie außerdem eine aus eiweißartigen Stoffen zusammengesetzte, wassergequollene Haut rings um den Körper tragen, so weisen sie, so lange diese Haut keine besonderen Veränderungen erleidet, die Merkmale der Zerteilungen mäßig feiner Tröpfchen im Wasser auf, stellen also Emulsionen dar. Andererseits ist die Leibesmasse der Bakterien wieder den eigentlichen Tröpfchenkolloiden einzureihen und vermag auch an sich deren Reaktionen aufzuweisen, wie allein die verschiedenen Färbungsverfahren zur besseren Sichtbarmachung unter dem Mikroskop erkennen lassen. Und endlich ist diese Leibessubstanz der Bakterien lebendig, in ihr finden unaufhörlich Strömungen und ähnliche, für die Verlagerung aufgenommener Stoffe wichtige Bewegungen statt. Daß sogar durch Einwirkung besonderer Stoffe[2]) eine Art von Gerinnung der Leibeshaut eintreten kann und die Bakterien dann in ihrem Verhalten von dem der Emulsionen abweichen und dem

[1]) In einem Glase faulenden Wassers können unter Umständen rund so viele Bakterien enthalten sein, als Menschen auf der Erde leben.

[2]) Der sog. Agglutinine, die z. B. bei der Typhusdiagnose in der Heilkunde eine Rolle spielen.

der Aufschwemmungen ähnlich werden,[1]) wurde bereits erwähnt. Es dürfte nicht ausgeschlossen sein, daß ähnliche Wirkungen auf Bakterien auch im Boden, vielleicht unter dem Einfluß von Ausscheidungen anderer Lebewesen, etwa Pflanzen, eintreten, doch ist davon noch nichts bekannt. Weiter ist als bedeutungsvoll noch die Fähigkeit einer Reihe von Bakterien zu nennen, unter bestimmten Ernährungsverhältnissen sich mit dicken Schleim- oder Gallertausscheidungen zu umgeben. Sowohl hierdurch, wie durch Bildung von allerlei Säuren in ihrem Lebensprozeß, von Kohlensäure wie von organischen Säuren und Salpetersäure, werden viele Bakterienarten erheblich in Kolloidvorgänge des Bodens eingreifen. Die Beteiligung ihrer selbst und ihrer Körper als Kolloide an diesbezüglichen Veränderungen im Boden wird aber wahrscheinlich keine besonders weitgehende sein, da sie sich durch zwei sehr wesentliche Umstände vor einer Reihe von anderen Bodenkolloiden auszeichnen: erstens sind sie belebt und jedenfalls zum großen Teil zu selbständigem Ortswechsel befähigt. Solange ihr Leben dauert, werden sie demnach die Wirkung mancher Kolloidreaktionen durch eigene Betätigung durchkreuzen. Dann aber wird zwar ihre Anzahl im Boden recht groß, ihre Masse — außer unter besonders günstigen Bedingungen —, aber meist eine so geringe sein, daß sie den anderen Bodenkolloiden im weiteren Sinne gegenüber recht zurücktritt. Die Bakterienverteilungen sind, wie das ja aus theoretischen Gründen zu erwarten ist, elektrisch negativ geladen.[2])

Wenn übrigens, dem Sprachgebrauch der Landwirtschaftswissenschaft gemäß, hier wesentlich von Bodenbakterien die Rede war, so ist darin auch die große, bislang im wesentlichen noch kaum erforschte Zahl anderer pflanzlicher und tierischer Kleinlebewesen des Bodens inbegriffen, die wegen ihrer geringen Größe, Schleimproduktion usw. hier neben den eigentlichen Bakterien genannt werden dürfen.

Nach Besprechung dieses wesentlichen Vertreters der Emulsionen des Bodens mögen die Hauptvertreter der Tröpfchenkolloide hier folgen. Wir haben unter ihnen anorganische wie organische zu unterscheiden. Zu den ersten gehört:

Die kolloide Kieselsäure.

Daß Kieselsäure in der Feuchtigkeit des Acker- und Waldlandes vorkommt, ist zweifellos. Hieraus nehmen sie die Pflanzen auf, die ja in ihrer Asche größere oder geringere Mengen von Kieselsäure aufweisen,

[1]) Vgl. H. Bechhold, a. a. O., oder Koll.-Zeitschr. **1**, 145 (1906).
[2]) P. Czernavodeanu und V. Henri, Compt. rend. Soc. Biol. **61**, 200 (1908).

von hier gelangt sie in die Dränwässer, die fast stets nachweisbare Mengen davon enthalten.[1]) Die im Acker- und Waldboden vorhandene kolloide Kieselsäure wird, und zwar meist zum geringeren Teil, aus Pflanzenresten gelöst sein, wie dies ja auch sonst vorkommt,[2]) im übrigen aber natürlich der Verwitterung der Gesteine entstammen. Nach älteren Untersuchungen ist es wahrscheinlich, daß die Kohlensäure des Bodens einen unverkennbar fördernden Einfluß auf das Löslichwerden der Kieselsäure ausübt.[3]) Sonst ist aber über die Mengen, in welchen die gelöste Kieselsäure im Boden vorkommt, wenig bekannt. Diesbezügliche Versuche, welche S. v. Piedzicki[4]) anstellte, sind schon von B. Sjollema[5]) als nicht brauchbar bezeichnet worden. Diese gelöste Kieselsäure des Bodens kann nun sowohl in kolloider wie in kristalloider[6]) Form vorhanden sein. Wenigstens ist bekannt,[7]) daß bei der Herstellung von Kieselsäurelösung im Laboratorium sich zunächst auch kristalloide, wirklich gelöste und gut diffundierende Kieselsäure bildet, die dann aber, besonders schnell bei Gegenwart von Natriumsilikat, in die kolloide Kieselsäure übergeht.[8]) Es würde die letztere also viel weniger leicht diffundieren. Indes ist es als durchaus wahrscheinlich zu bezeichnen, daß Kieselsäurekolloid — in geringerem Maße — jedenfalls auch zu diffundieren vermag, um so mehr, als es bei sorgfältiger Bereitung nach R. Zsigmondy[9]) aus Amikronen besteht, die kleiner als 0,005—0,01 μ sind. Da die kristalloide lösliche Kieselsäure sich besonders aus sehr wasserhaltigen Silikaten bilden soll,[10]) so wäre ihr Vorkommen im Boden nicht unwahrscheinlich, wenn es sich dabei auch voraussichtlich wegen der doch in kurzer Frist eintretenden Umwandlung in kolloide Kieselsäure nur um geringe Mengen handeln kann. Es sei hier darauf hingewiesen, daß möglicherweise die von den Pflanzen aufgenommene

---

[1]) Vgl. z. B. Th. Schlösing d. Ä., Compt. rend. **132**, 1203 ff. (1901).

[2]) Alex. Müller, Landw. Jahrb. **14**, 285 (1885).

[3]) F. Karsten, Ann. d. Chem. u. Phys. **82**, 360 (1826). J. Fittbogen, Landw. Jahrb. **2**, 457 (1873); ebenso neuerdings M. Mach, Verh. d. Naturf.-Ges. Kassel **2**, 91 (1904). H. Stremme, Zentralbl. Mineral. (1908), 629.

[4]) S. v. Piedzicki, Mitteil. landw. Inst. Univ. Leipzig, Heft **2**, 45 (1901).

[5]) B. Sjollema, Journ. Landw. **50**, 374 (1902).

[6]) E. Jordis, Zeitschr. Elektr. **8**, 678 (1902).

[7]) F. Mylius und E. Groschuff, Ber. Deutsch. chem. Ges. **39**, I, 118 (1906); ferner R. Zsigmondy, Van-Bemmelen-Gedenkboek (Helder u. Dresden 1910) 9.

[8]) F. Mylius und E. Groschuff, a. a. O. 119. Ähnliche Bildung eines Kolloids aus dem entsprechenden Kristalloid scheint bei B. Reinitzers Untersuchungen über Chromverbindungen, Monatshefte Chem. **3**, 252—253 (1882) vorgelegen zu haben.

[9]) R. Zsigmondy, Erkenntnis d. Kolloide (1905) 180.

[10]) F. Mylius und E. Groschuff, a. a. O.

Kieselsäure die kristalloide, F. Mylius' und E. Groschuffs Alpha-Form [1]) darstellt; denn diese diffundiert leicht. [2])

Nach Angaben von Wi. Ostwald ist es wahrscheinlich, daß die Kieselsäure auch aus ihren in der Natur, in Gestein und Boden vorkommenden Lösungen zu kristallisieren vermag. [3]) Falls es sich hierbei nicht etwa um ein Auskristallisieren der voraussichtlich stets in geringen Mengen neben der kolloid löslichen Kieselsäure im Boden vorhandenen kristalloid-löslichen Form handelt, dürfte eine Bildung von Kieselsäurekristallen aus kolloiden Lösungen vorliegen. [4]) So hält auch H. Hein [5]) es im Anschluß an G. Spezia [6]) für wahrscheinlich, daß infolge fortschreitender Obertlächenverkleinerung aus Opal die Kristallform der Kieselsäure hervorgeht. Vielleicht spielt auch in der Natur dafür, ob sich nun Quarz oder die kolloide feste Form, Opal, bildet, die Geschwindigkeit der zur Bildung der Kieselsäure führenden Reaktion eine maßgebliche Rolle. Denn es gelang, durch sehr langsame Reaktionen, Kristalle von Verbindungen zu gewinnen, die sonst wesentlich in kolloidem Zustand erhalten werden. [7]) Übrigens scheint höhere Temperatur die Bildung von Kieselsäurekristallen aus Kieselsäurekolloid zu begünstigen. [8])

Neben dieser Kristallform, die sich aus der in der Natur vorkommenden gelösten Kieselsäure im Laufe der Zeit bildet und durch das Mineral Quarz am deutlichsten charakterisiert ist, steht nun die zweifellos aus

[1]) Ebenda 118.

[2]) Da aber nachgewiesenermaßen z. B. in Bambusstengeln (F. Cohn, Beiträge zur Biologie der Pflanzen **4**, 365 [1887]) kolloide Kieselsäure als Tabaschir vorkommt, so müßte man dann wenigstens beim Bambus annehmen, daß die kristalloid in die Stengelhohlräume diffundierte Kieselsäure dort kolloid geworden ist.

[3]) Wi. Ostwald, Grundlin. anorgan. Chemie, 2. Aufl. (1904) 437.

[4]) Angaben hierzu bei E. Frémy, Ann. Chim. Phys. (3), **38**, 336 (1853); A. Hantzsch, Zeitschr. anorg. Chem. **30**, 339 (1902); P. P. von Weimarn, Koll.-Zeitschr. **4**, 317 (1908); L. Pelet-Jolivet und A. Wild, ebenda **3**, 175 (1908); **5**, 62 (1909); M. Traube-Mengarini und A. Scala, ebenda **6**, 65 (1910); J. Amann, ebenda **6**, 235 (1910); L. Wöhler und W. Engels, Kolloidchem. Beihefte **1**, 472 (1910); R. Zsigmondy, Kolloidchemie (1912) 148.

[5]) H. Hein, Neues Jahrb. Mineralogie B. B. XXV, 182, bes. 190 u. 229.

[6]) G. Spezia, Atti R. Accad. Lincei, Rom, **31—41** (1895—1906).

[7]) Vgl. dazu Wo. Ostwald, Grundriß d. Kolloidchemie, 1. Aufl. (1909) 317—318, wo weitere Literatur.

[8]) M. de Senarmont, Ann. Chim. Phys. (3), **32**, 129 (1851); K. v. Chrustschoff, Neues Jahrb. Mineralogie **1**, 205 (1887); W. Bruhns, ebenda **2**, 62 (1889).

kolloid-gelöster Kieselsäure sich bildende[1]), amorphe feste Kieselsäure, wie sie mineralogisch im Opal sich darstellt.[2])

Wie es bereits durch die oben gewählte Anordnung zu erkennen war, ist die kolloide Kieselsäure zu den Tröpfchenkolloiden zu rechnen. Sie zeigt demnach, was schon flüchtig oben erwähnt wurde,[3]) wie alle Tröpfchenkolloide eine verhältnismäßig große Widerstandsfähigkeit gegen zusammenballende Mittel, zumal Salze. Der Grund hierfür liegt vielleicht in dem Umstande, daß bei den Tröpfchenkolloiden Tröpfchen wie Verteilungsmittel nur verschieden stark konzentrierte Lösungen der gleichen Stoffe darstellen,[4]) ihre Oberflächenspannungen gegeneinander also geringere sind. So werden zum Beispiel geringe und selbst größere Mengen von Metallionen, die auf Körnchenkolloide ziemlich plötzlich fällend wirken, bei Tröpfchenkolloiden schwächere Wirkung äußern.[5]) Diese Eigenschaften weist nun, wie erwähnt, auch zumeist das Kieselsäurekolloid auf,[6]) das übrigens auch Schutzwirkungen zu äußern vermag,[7]) und wird daher zu den Tröpfchenkolloiden zu rechnen sein. Freilich, auch hier sind bereits wieder Ausnahmen zu finden, und unter gewissen Umständen vermag auch kolloide Kieselsäure, die übrigens elektrisch negative Ladung aufweist,[8]) so stark auf Zusatz mehrwertiger Metallionen zu reagieren, wie sonst manche Körnchenkolloide; man vergleiche nur die oben 35 wiedergegebenen Ergebnisse, die W. B. Hardy erzielte. Sehr wahrscheinlich spielen Verhältnisse der elektrischen Ladung, wie solche durch Säure- bzw. Basenzusatz erreicht wird,[9]) dann

[1]) F. Steinriede, Anleit. mineralog. Bodenanalyse, (Leipzig 1889). Vgl. auch E. Ramann, Bodenkunde, 3. Aufl. (Berlin 1911) 243. Die Angabe dort, daß „sich in den Böden häufig gallertartige Massen" von Kieselsäure finden, dürfte möglicherweise Irrtümer erwecken. Im Gestein werden allerdings nach C. Doelter, Handb. Mineralchemie **2** (Dresden 1914) derartige Erscheinungen beobachtet.

[2]) B. Sjollema gibt im Journ. Landw. **50**, 370 (1902) eine Methode zur Trennung von Quarz und amorpher Kieselsäure mit Diäthylamin.

[3]) oben 28. — [4]) Vgl. oben 31, Anmerkung.

[5]) So für Kieselsäure Angaben bei F. Karsten, vgl. weiter unten.

[6]) H. Freundlich, a. a. O. 406, gibt Näheres, auch weitere Literatur.

[7]) F. Küspert, Ber. Deutsch. chem. Ges. **35**, 2815 (od. 4066) (1902).

[8]) Vgl. W. Biltz, Ber. Deutsch. chem. Ges. **37**, 1095 (1904); A. Lottermoser, Anorganische Kolloide (1901) 76; W. B. Hardy, Zeitschr. physik. Chem **33**, 385 (1900); E. Jordis, Sitzungsber. phys. med. Sozietät Erlangen **36**, 47 (1904); dagegen weiter noch W. Spring, Bull. Acad. Roy. Belg. III, **35**, 780 (1898). Endlich J. Billitzer, Zeitschr. physik. Chem. **51**, 134 u. 151 (1905). Über die Folge dieses Ladungssinnes bei der Lateritbildung vgl. unten 67.

[9]) F. Karsten, Ann. Chem. Phys. **82**, 354, 358 (1826). Ferner Art. Müller, Allgem. Chem. Kolloide (1907) 79.

aber besonders die Entstehungsgeschichte des Kieselsäurekolloids hierfür eine Rolle, indem durch Adsorption dabei in verschiedenem Maße andere Verbindungen aufgenommen werden.[1]) Auch die Erscheinung des „Alterns"[2]) ist beim Kieselsäurekolloid vorhanden,[3]) das heißt dasselbe wandelt sich im Laufe der Zeit aus einer Flüssigkeit mehr und mehr in Gallert um und wird schließlich zu amorph fester Kieselsäure, dem Opal der Mineralogen.

Erwähnt wurde, daß bei der kolloiden Kieselsäure die fällende Wirkung der Metallionen zumeist geringer ist; immerhin spielt sie doch eine Rolle. Daneben können natürlich Salze durch Wasserentzug die kolloide Kieselsäure zur Ausflockung, zur Bildung eines Gallerts veranlassen, sowie auch unter Umständen Beimischung pulverförmiger fester Körper, wie etwa gestoßener Graphit.[4]) In gleicher Richtung wirkt weiter Temperaturerhöhung[5]) und Frost. N. Ljubavin[6]) stellte fest, daß fast 97 % einer Kieselsäurekolloidlösung durch 7—10° Kälte in zwei Tagen zur Zusammenballung gebracht wurden. Schon vorher hatte H. Kühn[7]) ähnliches ermitteln können, wogegen F. Mylius und E. Groschuff eine allerdings stark Kochsalz enthaltende Kolloidkieselsäure nach völligem Gefrieren durch Auftauen wieder durchaus in Lösung zu bringen vermochten.[8]) Auch die hierbei beobachteten Unterschiede dürften auf Rechnung der Gewinnungsart u. dgl. zu setzen sein, und das Unterbleiben des Ausfrierens mag um so eher als eine Ausnahmeerscheinung betrachtet werden können, als nach W. Nernst[9]) die Zusammenballung der Kieselsäure mit Wärmeentwicklung verbunden ist, dieselbe also durch Kälte begünstigt werden müßte. G. Bruni[10]) beobachtete übrigens ebenfalls

[1]) Vgl. besonders auch E. Jordis, Koll.-Zeitschr. **1**, 97 (1906).

[2]) Vgl. Wo. Ostwald, Grundriß d. Kolloidchemie, 1. Aufl. (1909) 274 u. 286.

[3]) H. Garrett, Inauguraldissertation (Heidelberg 1903) 59.

[4]) Th. Graham, bei R. Zsigmondy, Erkenntnis d. Kolloide (1905) 41.

[5]) Th. Graham, Ann. Chim. Phys., (4). **3**, 127 (1864); E. Frémy, Ann. Chim. Phys., (3), **38**, 317 (1853); W. Flemming, Zeitschr. physik. Chem. **41**, 443 (1902). Man vergleiche aber Angaben über Auflösen von Kieselgallert durch Kochen bei H. Kühn, Journ. prakt. Chem., (1), **59**, 1 (1853), sowie E. Jordis, Koll.-Zeitschr. **1**, 98 (1906).

[6]) N. Ljubavin, Journ. russ. phys.-chem. Ges. **21**, 397 (1889).

[7]) H. Kühn, Journ. prakt. Chem., Reihe 1, **59**, 1 (1853).

[8]) F. Mylius und E. Groschuff, Ber. Deutsch. chem. Ges. **39**, I, 122 (1906).

[9]) W. Nernst, Theoret. Chemie, 5. Aufl. (Stuttgart 1907) 419.

[10]) G. Bruni, Ber. Deutsch. chem. Ges. **42**, 564 (1909). Es wurden sogar kleine, schimmernde, harte Blättchen erhalten, die ein fast kristallinisches Aussehen zeigten, sich unter dem Mikroskop aber sofort als amorph erwiesen.

Ausfallen durch Gefrieren. Auch beim Versetzen mit anderen Kolloiden kommt die Kieselsäure unter Umständen mit denselben zum Ausfallen, wie ja nach dem früher Gesagten nicht anders zu erwarten ist.[1]) So fallen u. a. Eiweißlösung und Kieselsäurekolloid miteinander aus,[2]) eine Reaktion, die sogar von W. Kette[3]) dazu benutzt werden sollte, die Eiweißstoffe des Kartoffelsaftes zu gewinnen. Ob und in welchem Umfange solche Reaktionen auch im Boden vorkommen können, wird später zu betrachten sein. Kolloide Kieselsäure weist, wie die meisten Kolloide,[4]) eine schwache elektrische Leitfähigkeit auf, nach W. R. Whitney und J. C. Blake bei einem Gehalt von 14,7 g im Liter $100 \cdot 10^{-6}$,[5]) nach Sh. Kasai dagegen bei 8,94 g im Liter 47 bzw. $43{,}5 \cdot 10^{-6}$. Da indes das Präparat des letztgenannten Forschers noch geringe Mengen von Verunreinigungen enthielt (die allerdings, wie erwähnt, unter Umständen für den Solzustand maßgebend sind), so ist er geneigt, der kolloiden Kieselsäure die Leitfähigkeit o zuzuschreiben.[6]) Nach Berechnungen von H. Nordenson[7]) ist auf Grund des Stokesschen Gesetzes meßbare Leitfähigkeit von Kolloiden — abgesehen natürlich von Verunreinigungen — nur zu erwarten, wenn höchstdisperse Teilchen mit sehr kleinem Durchmesser vorhanden sind, und die Konzentration des Kolloids hoch ist. W. Meyer erreichte eine Höchstkonzentration von 5,95% SiO_2 für Kieselsäuresol,[8]) Th. Graham sogar 14%, während im allgemeinen schon Gehalte von 10% und mehr selten sind.[9]) Die kolloide Kieselsäure zeigt, genügend gereinigt, eine außerordentlich geringe Gefrierpunktserniedrigung[10]) und schwachen osmotischen Druck.[11])

Daß ausgefälltes Kieselsäurekolloid, also Kieselgallert — übrigens im Gegensatz zu vielen organischen Gelen, wie Leim, ein wenig elastisches

[1]) Vgl. oben 39.

[2]) U. Friedemann, Zeitschr. experiment. Pathol. u. Therapie **3**, 73 (1906). F. Mylius und E. Groschuff, a. a. O. 121.

[3]) W. Kette, Zentralbl. Agrikulturchem. **9**, 79 (1880).

[4]) J. Duclaux, Koll.-Zeitschr. **3**, 133 (1908).

[5]) W. R. Whitney und J. C. Blake, Journal Amer. Chem. Soc. **26**, 1374 (1904).

[6]) Sh. K. Kasai, Inauguraldissertation (München 1896) 14.

[7]) H. Nordenson, Koll.-Zeitschr. **16**, 65 (1915).

[8]) W. Meyer, Inauguraldissertation (Heidelberg 1897) 10.

[9]) R. Zsigmondy, Kolloidchemie (Leipzig 1912) 145.

[10]) A. Sabanejeff, Journ. russ. phys. chem. Gesellsch. **21**, 515 (1889); Ber. Deutsch. Chem. Gesellsch. **23**, R, 87 (1890); G. Bruni und N. Pappadà, Atti R. Accad. Lincei Rom [5] **9**, 354 (1900); Mylius und Groschuff a. a. O

[11]) R. Zsigmondy, Kolloidchemie (Leipzig 1912) 147.

Gel[1]) — sich mit der Zeit mehr und mehr verfestigt, wurde bereits erwähnt.[2]) Auch Aufbewahrung unter Wasser dürfte, wie das wenigstens für kolloides Eisen- und Aluminiumhydroxyd festgestellt ist[3]), dies „Altern" nicht hemmen können. Dagegen scheint der dabei in Frage kommenden, jedenfalls mit chemisch-physikalischen Änderungen Hand in Hand gehenden Verminderung der Oberflächen in dem Gallert[4]) ein Durcharbeiten mit Luft, bei dem also neue Oberflächen geschaffen werden oder die adsorbierte Luft die Teilchen umhüllt und vor weiterer Vereinigung schützt, entgegenzuwirken. Darauf deuten Beobachtungen von H. Garrett[5]), in gewisser Weise auch von R. S. Lillie[6]), sowie W. Biltz und A. v. Vegesack, bzw. H. Steiner[7]) hin. Ähnliches beobachteten vor Jahren H. Pick und ich an dem unserm Kieselsäuregallert in mancher Beziehung verwandten[8]) Stärkekleister. Vielleicht wären noch einige Tatsachen über das Verhalten von Kieselgallert an der Luft nachzutragen. Zunächst absorbiert Kieselsäure diese sehr erheblich stärker als reines Wasser.[9]) Je nach dem Wasserverlust wechselt weiter die Konsistenz solchen Gallerts von der gelatinösen bis zu der unseres Glases. Bei Wasserverlust schwindet das Kieselsäuregallert, wieder befeuchtet quillt es deutlich, erreicht aber bei weitem sein früheres Volum nicht wieder, oder, was dasselbe sagt, nimmt nicht mehr so viel Wasser auf, wie es ursprünglich enthielt. Dagegen führt OH′ (Hydroxylion) zumal in Verbindung mit Jonen der Alkalimetalle im Wasser zu stärkerer Quellung und meist Auflösung[10]); die verteilungsfördernde Wirkung desselben erweist sich demnach auch hier. — Daß die sog. Meta-Formen einer ganzen Reihe kolloider Oxyde bzw. Hydroxyde, die man auch für die Kieselsäure annahm, nur durch Entstehung bzw. Zusammensetzung der kolloiden Phase von der eigentlichen Form

[1]) H. Freundlich, Kapillarchemie (Leipzig 1909) 486.

[2]) Vgl. auch E. Frémy, a. a. O. 317.

[3]) J. M. van Bemmelen, Die Absorption, (Dresden 1910) 53 u. 192.

[4]) Vgl. dazu auch H. Freundlich, a. a. O. (Leipzig 1909) 414.

[5]) H. Garrett, Inauguraldissertation (Heidelberg 1903) u. a. 51. Garrett gibt allerdings eine andere Erklärung, und eine weiter abweichende auch M. v. Smoluchowski, Koll.-Zeitschr. **18**, 194 (1916).

[6]) R. S. Lillie, Amer. Journ. Physiol. **20**, 127 (1907).

[7]) W. Biltz und A. v. Vegesack, bzw. H. Steiner, Zeitschr. physikal. Chem. **73**, 507 (1910).

[8]) H. Freundlich, a. a. O. (Leipzig 1909) 415.

[9]) H. Garrett, Inauguraldissertation (Heidelberg 1903) 51.

[10]) A. Famintzin, Ber. d. Deutsch. botan. Ges. **2**, 32 (1884).

verschieden sind, lag bereits für den Kolloidchemiker nahe und ist denn auch durch A. Lottermoser festgestellt worden.[1])

An die Besprechung der kolloiden Kieselsäure müßten sich füglich die kolloiden Silikate des Bodens anschließen; da sie aber andererseits nach mancher Richtung Besonderheiten darbieten, so werden sie weiter unten behandelt werden.

Die Humuskolloide.

Die kolloide Eigenschaft eines großen Teils der in Acker- und Waldböden in wechselnder Menge vorkommenden organischen Massen ist wohl zuerst von J. M. van Bemmelen erkannt und ausgesprochen worden,[2]) während Th. Graham bereits die tierischen und pflanzlichen Extraktivstoffe zu den Kolloiden zählte. Die chemische Zusammensetzung der Humusmassen des Bodens ist bislang leider nicht bekannt,[3]) und gerade in neuerer Zeit bestanden lebhafte Meinungsverschiedenheiten darüber, ob ihr lange als selbstverständlich angesehener[4]) „Säurecharakter" überhaupt vorhanden sei. Es ist hier nicht der Ort, in die Auseinandersetzung darüber einzutreten, welche Meinung Recht hat, obwohl an der Säureeigenschaft wohl nicht mehr viel gezweifelt werden dürfte.[5]) Auch scheinen die früher

[1]) A. Lottermoser, J. M. van Bemmelen-Gedenkboek (Helder 1910) 152.

[2]) J. M. van Bemmelen, Landw. Versuchsstat. **35**, 69 (1888).

[3]) P. Ehrenberg, Chem.-Ztg. **34**, 1157 (1910). Vgl. dazu aus älterer Literatur noch C. Sprengel, Kastners Arch. ges. Naturlehre **8** (Nürnberg 1826); J. J. Berzelius, Lehrb. d. Chem., 3. Aufl. (1839).

[4]) Von neueren Forschern ist wohl noch zu nennen: M. Berthelot, der glaubte, äquivalente Bindung von Kalium und Kalzium durch Humussubstanzen nachgewiesen zu haben; Compt. rend. **141**, 433, 798, 1182 (1905). Auch L. Roger und E. Vulguin teilen mit, daß die Humussäure des Torfs „possède des propriétés nettement acides", ohne freilich den Beweis dafür zu erbringen; Compt. rend. **147**, 1404 (1908). In gleicher Weise findet sich V. Zailer und L. Wilks' Angabe, daß „ein Teil des Ammoniaks auch durch die organischen Säuren der Sphagneen festgehalten wird, was wir durch direkte Versuche feststellen konnten", ohne das nötige Beweismaterial; Zeitschr. landw. Versuchswes. Österr. **10**, 799 (1907).

[5]) A. Baumann und E. Gully, Mitteil. Bayer. Moorkulturanst., **4**, besonders 66 (1910); H. Süchting, Protokoll 64. Sitzung Zentr.-Moor-Kommission (1910) 148; W. Thaer, Inauguraldissertation (Göttingen 1910) 121; A. Rindell, Intern. Mittlg. Bodenk. **1**, 67 (1911); B. Tacke und H. Süchting, Landw. Jahrb. **41**, 727 (1911); S. Odén, Ber. Dtsch. chem. Ges. **45**, I, 651 (1912); E. Gully, Mittlg. Bayer. Moorkulturanst., **5**, 1 u. 85 (1913); B. Tacke und A. Densch, Landw. Jahrb. **45**, 195 (1913); L. Hiltner und G. Gentner, Landw. Jahrb. Bayern **10**, Sonderdruck, 96 (1913); P. Ehrenberg und F. Bahr, Journ. Landw. **61**, 427 (1913); S. Odén, Koll.-Zeitschr. **14**, 123 (1914); E. Gully, Intern. Mittlg.

sich ziemlich schroff gegenüber stehenden Ansichten sich in letzter Zeit mehr aneinander angenähert zu haben.[1]) Daß die Humusstoffe Kolloide sind, wurde jedenfalls weder früher noch jetzt bestritten.

Die Humusstoffe bilden sich aus Pflanzen- und Tierresten bei Gegenwart von Feuchtigkeit in der Erde, wie bekannt ist; doch wird nun nicht jeder Teil organischer Masse im Boden mit Recht als Humus im eigentlichen Sinne zu bezeichnen sein; dazu wird er erst durch Umwandlungen, deren Kenntnis uns noch entgeht. Denn S. Bennis Versuche, nach denen aus Zucker und Eiweißstoffen durch Oxydation im Laboratorium Humussubstanzen herzustellen sein sollten,[2]) sind durch Hj. v. Feilitzen als haltlos erwiesen worden,[3]) waren übrigens aber bereits vor ihrer Anstellung mit allen ihren Fehlern durch A. Maumené dargelegt und aufgeklärt.[4])

Selbstverständlich kann es hier nicht meine Aufgabe sein, die umfangreiche Literatur über Humusbildung geschlossen darzustellen. Erwähnt sei aber, daß eine zahlreiche Gruppe von Forschern besonders die Tätigkeit der Tiere als bedeutungsvoll für die Humusbildung hat ansehen wollen. Ch. Darwin trat zuerst hierfür namentlich mit Bezug auf den Regenwurm ein,[5]) dann folgten ihm in dieser Richtung H. v. Post, der aber die Tätigkeit der Insekten ins Auge faßte,[6]) V. Hensen, der wieder,[7]) ebenso wie A. v. Lengerke,[8]) auf den Regenwurm zurückging, und P. E. Müller.[9]) Schon dieser war aber Einwendungen nicht unzugänglich,[10]) wenngleich er die Bedeutung des Regenwurmes wie die mancher anderer Tiere[11]) noch sehr hoch veranschlagte.[12]) Auch C. Keller[13]) und E. Henry[14]) seien hier unter anderen[15]) genannt. Allen diesen Forschern ist es aber

Bodenk. 5, 133, 232, 347 (1915); B. Tacke, ebenda 114; G. Fischer, Kühn-Archiv 4, 1 (1914); S. Odén, Intern. Mittlg. Bodenk. 6, 81 u. f. (1916); H. Kappen, Landw. Versuchsstat. 89, 53 u. f. (1916), wo noch weitere Literatur.

[1]) B. Tacke, Intern. Mittlg. Bodenk. 5, 144 (1915).

[2]) S. Benni, Inauguraldissertation (Gießen 1896).

[3]) Hj. von Feilitzen, Journ. Landw. 46, 30 (1898).

[4]) A. Maumené, Compt. rend. 120, 783 (1895).

[5]) Ch. Darwin, Trans. Geolog. Soc. 5, 505 (1837).

[6]) H. von Post, K. Svenska Vetenskapsakademiens Handlingar 4, 1 (1862).

[7]) V. Hensen, Zeitschr. wiss. Zool. 28, 354 (1877); Landw. Jahrb. 11, 661 (1882).

[8]) A. von Lengerke, Land- u. forstwissensch. Vereinsblatt (Hildesheim 1873).

[9]) P. E. Müller, Studien über d. natürlich. Humusformen (Berlin 1887) 56, 272.

[10]) a. a. O. 61. — [11]) a. a. O. 172. — [12]) a. a. O. 273.

[13]) C. Keller, Naturforscher 20, 357 (1887).

[14]) E. Henry, Journ. agricult. pratique 1900, 778.

[15]) Vgl. noch Literatur bei A. Mitscherlich, Bodenkunde (Berlin 905) 138, und E. Ramann, Bodenkunde, 3. Aufl. (Berlin 1911) 484.

gemein, daß sie augenscheinlich mehr an die Zerkleinerung abgestorbener Pflanzenteile, als an die Bildung eigentlicher Humusstoffe durch Tiere gedacht haben, so daß ihre Ansichten und noch manche anderen dafür[1]) und dagegen[2]) geäußerten Meinungen hier ausscheiden dürfen. Das gleiche muß von der durch L. Hiltner geäußerten Hypothese gelten, daß Protozoen des Bodens direkt an der Bildung des eigentlichen — also des kolloiden — Humus wirken, solange hierfür nicht exakte Beweise gebracht werden.[3])

Die größere oder geringere Teilnahme von pflanzlichen Lebewesen bei der Humusbildung ist seit längerer Zeit angenommen und, wenigstens was die eigentliche Bildung des Humus, nicht nur ihre Vorbereitung anbelangt, auch wohl mit besseren Gründen verteidigt worden, als wir sie im vorhergehenden Abschnitt für die Betätigung von Tieren in dieser Richtung anführen konnten. M. W. Beijerinck[4]) beobachtete bei Streptothrix chromogena humusähnliche Stoffe, W. L. Omelianski und O. P. Ssewerowa wollen die Teilnahme des Azotobacter chroococcum, dessen Farbstoff ähnlich den Humusstoffen sich unter chemischer Veränderung in Alkalien löst, für die Dunkelfärbung des Bodens nicht ausschließen.[5]) Es kommen also, entgegen der Annahme z. B. von P. Kostytscheff,[6]) möglicherweise auch Bakterien für die Humusbildung in Frage. Der soeben genannte Forscher sah Insekten und besonders Pilze als besonders hierfür maßgebend an. Doch mißt er vielfach den Pilzen nur die Funktion bei, sauere Reaktion des Bodens zu zerstören und so eine chemische Umsetzung bei neutraler oder alkalischer Beschaffenheit des Bodens entsprechend der Schwärzung der Pyrogallussäure[7]) zu ermöglichen. Ähnlich wie W. L. Omelianski der Farbstoffbildung durch Azotobacter, so schreibt C. van Iterson[8]) der Bildung solcher Stoffe durch Bakterien und Pilze,

[1]) E. Wollny, Zersetzung d. organ. Stoffe (Heidelberg 1897) 42.

[2]) P. E. Müller, a. a. O., Anm. 3; F. Enkhausen, Journ. Landw. **30**, 371 (1882).

[3]) Seit der in einem Vortrag im Sonderausschuß für Bodenbakteriologie der Deutschen Landwirtschafts-Gesellschaft meiner Erinnerung nach 1908 aufgestellten Behauptung ist der Punkt meines Wissens nicht wieder berührt worden.

[4]) M. W. Beijerinck, Zentralbl. f. Bakteriol., (2). **6**, 2 (1900).

[5]) W. L. Omelianski und O. P. Ssewerowa, Zentralbl. f. Bakteriol., (2). **29**, 650 (1911).

[6]) P. Kostytscheff, Ann. agronomiques **17**, 17 (1891).

[7]) J. Boussingault, Compt. rend. **57**, 885 (1863); A. Rösing, Jahresber. Chemie (1857) 315; (1858) 258; Ann. Chem. u. Pharm. **53**, n. R. 248 (1864).

[8]) C. van Iterson, Zentralbl. Bakteriol. (2), **11**, 689 (1904).

zumal aus Zellulose, eine Bedeutung für die Humusbildung zu; er erwähnt dabei besonders den Pilz Pyrenochaeta humicola. Auch H. v. Schrenk[1]) hat über Bildung humusartiger Stoffe aus Taxodium distichum in Gegenwart von Pilzmyzel Mitteilungen gemacht. Dann studierte C. J. Koning[2]) unter Anerkennung des Einflusses, den die tierischen Humusbewohner an der Zerstörung der festen Pflanzen- u. dgl. Überreste nehmen, die Bedeutung der Fadenpilze, besonders für die Umwandlung von Laubblättern in Humus und mißt den von diesen Lebewesen ausgeschiedenen Enzymen eine wesentliche Bedeutung für die Humusbildung bei. Auch hier also werden wir wieder auf mehr chemische Vorgänge hingewiesen, wie sie die allbekannte Schwärzung von Rüben- und Kartoffelsaft unter dem Einfluß von Sauerstoff und Enzymen etwa darstellt.[3]) Dies dürfte um so mehr Beachtung verdienen, als vielfach nachgewiesen ist, daß sich in der Natur vorkommende Humusstoffe, zumal in alkalischer Lösung, unter Sauerstoffaufnahme dunkler färben.[4]) Auch W. Knop,[5]) F. Hoppe-Seyler[6]) und A. Baumann haben hierauf hingewiesen unter Betonung des Umstandes, daß der Vorgang der Veränderung mancher Benzolderivate in alkalischer Lösung gleicht; der Letztgenannte[7]) teilt bereits die Bodenarten ein in solche, denen wegen fortgeschrittener Oxydation diese Reaktion fehlt, „der frucht-

[1]) Vgl. J. Früh und C. Schröter, Moore d. Schweiz (Bern 1904).

[2]) C. J. Koning, Archives Néerland. Sciences exact. natur. (2), **9**, 34 (1904).

[3]) Auch Kleienauszug färbt sich nach H. Mège-Mouriès durch Wirkung des „Cerealins" schwarz. Vgl. Frhr. von Bibra, Getreidearten u. Brot (1860) 384.

[4]) Hierzu seien erwähnt die wohl ältesten Untersuchungen über Humus von F. K. Achard, Drells Annalen **2**, 391 (1786); R. Jameson, An Outline of the Mineralogy of the Shetlands Islands, etc. (Edinburg 1798), von Th. de Saussure, Ostwalds Klassik. d. exakt. Wissensch. **15**, 87 (1804); J. J. Berzelius, Lehrb. d. Chemie **8**, 390, (1839); J. Soubeiran, Journ. Pharm. (3), **17**, 321; **18**, 5, 16 (1850). G. J. Mulder, Chemie d. Ackerkrume **1**, 319 (1863); A. Pagel, Landw. Jahrbüch. **6**, I, 356, 358 (1877); F. Sitensky, Arch. naturwiss. Landesdurchforsch. Böhmen **6**, 204 (1889). H. Krause, Journ. Landw. **39**, 443 (1891). B. Tacke, Chem.-Ztg. (1897) 174. S. Odén bestreitet übrigens auf Grund seiner Versuche die Dunkelfärbung von Humusstoffen in alkalischer Lösung unter Sauerstoffaufnahme, Intern. Mittlg. Bodenk. **6**, 89 u. f. (1916). Vielleicht ist nicht mit frischem, ungetrocknetem Torf gearbeitet worden? Denn H. Süchting fand schon mit Kalk sehr starke Kohlensäureentwicklung; Fühlings Landw.-Ztg. **61**, 480 (1912). Ältere Humusliteratur vgl. noch bei A. A. Julien, Proced. Amer. Assoc. Adv. Science, **28**, 311 (1879) und S. Rideal, Chem. News **84**, 149 (1901).

[5]) W. Knop, Landw. Versuchsstat. **33**, 435 (1887).

[6]) F. Hoppe-Seyler, Zeitschr. physiol. Chem. **13**, 66 (1889).

[7]) A. Baumann, Landw. Versuchsstat. **33**, 247; **34**, 259 (1887).

bare Boden", und in andere. Da neuerdings durch ein von Th. Pfeiffer[1]) angegebenes Verfahren beträchtliche Mengen von Benzolabkömmlingen in Pflanzensubstanz gefunden werden konnten[2]) und entgegengesetzt früheren Ansichten[3]) möglicherweise noch mehr darin vorhanden sein können,[4]) so dürfte die durch Enzyme oder alkalische Reaktion bedingte Umwandlung[5]) pflanzlicher Stoffe in der genannten Richtung bis zum Vorliegen genauerer Forschungen[6]) eine erhebliche Bedeutung verdienen.

Bei Betrachtung der kolloiden Humusstoffe des Bodens müssen wir die erst weniger oder mehr in der Zersetzung begriffenen Vorstufen ausschalten; dann erscheint ihr Anteil an der prozentischen Zusammensetzung des Bodens als meist nicht besonders groß. Die Form, in der sie im Boden vorkommen, schwankt in allen Stufen zwischen flüssig und fest, und sie sind im Gegensatz zu früheren Anschauungen[7]) den warmen[8]) wie den gemäßigten Klimaten eigen, wenn auch letzteren mehr. Es kommen sogar in den Küstengegenden der Tropen eigenartige Moorbildungen vor.[9]) Eine als brauchbar zu bezeichnende Bestimmungsmethode für die kolloiden Humusstoffe gibt es zurzeit noch nicht, da entweder noch nicht fertig umgewandelte organische Masse oder auch andere Kolloide usw. nicht auszuschließen sind. Als einigermaßen verwendbar sei die Methode

[1]) Th. Pfeiffer, Mitteil. landw. Inst. Univ. Breslau **2**, 273 (1903); **3**, 545 (1905). Weiter Inauguraldissertation von I. A. Bruno Schulz (Breslau 1905).

[2]) H. Vasiliu, Inauguraldissertation (Breslau 1906). Derselbe, Mitteil. landw. Inst. Univ. Breslau **4**, 355, 374, 703 (1908).

[3]) A. Stutzer, Landw. Versuchsstat. **18**, 364 (1875).

[4]) M. Singer, Sitzungsber. math. naturw. Kl. Kais. Akad. Wiss. **85**, I. 345 (1882).

[5]) M. Gonnermann, Arch. gesamte Physiol. **82**, 289 (1900); R. Bertel, Ber. Deutsch. botan. Ges. **20**, 454 (1902); **21**, 247 (1903). B. Slowtzoff, Zeitschr. physiol. Chem. **31**, 227 (1900/01); J. Reinke, Zeitschr. physiol. Chem. **6**, 263 (1882).

[6]) Protok. 64. Sitz. Zentral-Moor-Kommission (1910) 46. Vortrag H. Süchting.

[7]) Doch schon A. F. Wiegmann wies auf das Vorkommen von Moor in den Tropen hin. Vgl. Entstehung, Bildung und Wesen des Torfs (1837) 55.

[8]) N. S. Shaler, Annual report U. S. geol. surv. **10**, I, 255 (1889). J. Reindl, Inauguraldissertation (Bern 1903). J. Früh und C. Schröter, Moore d. Schweiz (Bern 1904). D. J. Hissink, Journ. Landw. **53**, 136 (1905), Anm. Coorders, nach H. Potonié, Naturwiss. Wochenschr. 1907, 657. E. C. J. Mohr, Bull. départem. agricult. Indes Néerland **17**, (2), 1 (1908); Over d. Grund van Java (Batavia 1912). H. Potonié, Jahrb. preuß. Geol. Landesanst. (1909) 389. R. Lang, Internat. Mittlg. Bodenk. **5**, 315, 324/5 (1915); Neues Zentralbl. Mineral. (1915) 160; Jahresh. Ver. vaterl. Naturk. Württembg. **71**, 120 u. f. (1915). J. Walther, Petermanns Mitteilg. **62**, 4 (1916).

[9]) E. C. J. Mohr, Bull. départem. agricult. Indes Néerland. **17**, (2), 3 (1908).

Th. Schlösings d. Ä.[1]) erwähnt, ebenso die von W. Thaer.[2]) Mit F. Bahr erhielt ich 10 % des benutzten Moostorfes an der von uns untersuchten, ammoniaklöslichen Humussubstanz,[3]) was zeigen mag, wie wenig gleichartig die natürlichen Humusstoffe sind.

Die Kolloideigenschaften der Humussubstanzen weisen ihnen ihren Platz in der Reihe der Tröpfchenkolloide zu. Sie reagieren verhältnismäßig wenig auf Salzfällung, weswegen z. B. Th. Schlösing d. Ä. seine Methode der Trennung des kolloiden Tons vom kolloiden Humus auf Zufügung von Chlorkaliumlösung aufbauen konnte;[4]) daß damit aber doch kaum etwas Exaktes erreicht wird, erwähnte ich bereits. Unter besonderen Umständen vermag aber das Humuskolloid ebenso wie Kieselsäurekolloid bzw. auch Bakterienaufschwemmung intensiv auf Elektrolyte auszufallen. W. Thaer, der dies erreichte, arbeitete mit einem durch Alkohol bereits bis zu einem gewissen Grade infolge von Wasserentzug zu größeren Teilchen zusammengetretenen[5]) Humussol.[6]) Auffälligerweise erwies sich dabei ein größerer Elektrolytzusatz als nicht fällend bzw. die Fällung wieder lösend. So daß hierbei, meines Wissens zum ersten Male, die sonst wesentlich bei Fällung von Kolloiden durch andere Kolloide[7]) bekannte Erscheinung einer unteren und oberen Nichtfällungszone bei Fällung durch ein Alkalisalz sich zeigte. Leider sind W. Thaers Angaben über diese Erscheinung zu ungenau, als daß sich Sicheres über diesen interessanten Fall sagen ließe.[8])

Die Humuskolloide, die in „Lösung", d. h. also als Sole auftreten, sind, soweit nicht bereits Vergröberungen der Teilchen stattgefunden haben, aus sehr kleinen Teilchen, R. Zsigmondys „Amikronen", zusammengesetzt, die sich auch im Ultramikroskop nicht einzeln erblicken lassen. Dies stimmt mit den unter anderen von F. Bahr und mir gemachten Beobachtungen überein, nach denen die Humusstoffe wenigstens zum Teil schon

[1]) Wiedergegeben b. L. Grandeau, Handbuch agrikulturchem. Analysen (1879) 108, gekürzt b. A. Mitscherlich, Bodenkunde (Berlin 1905) 34. Literatur über Versuche anderer Art: E. Ramann, Bodenkunde, 3. Aufl. (Berlin 1911) 165.

[2]) W. Thaer, Inauguraldissertation (Göttingen 1910) 61.

[3]) P. Ehrenberg und F. Bahr, Journ. Landw. **61**, 444 (1913).

[4]) A. Mitscherlich, a. a. O. 34.

[5]) W. Thaer, a. a. O. 117.

[6]) Auch kolloider Schwefel mit gröberen Teilchen wird leichter durch Elektrolyte gefällt, als solcher mit feinen, vgl. S. Odén, Zeitschr. physik. Chem. **78**, 682 (1912); ähnliches gilt für kolloide Zinnsäure, W. Mecklenburg, Zeitschr. physik. Chem. **64**, 368 (1909); R. Zsigmondy, Kolloidchemie (Leipzig 1912) 169.

[7]) Oder kolloidbildende Elektrolytlösung; vgl. H. Freundlich, Kapillarchemie (Leipzig 1909) 465.

[8]) Vgl. a. a. O. 109.

auf der Grenze von Kolloiden zu Kristalloiden stehen.[1]) Durch Dialyse trat aber, wie dies auch sonst nicht selten vorkommt,[2]) eine wenigstens beginnende Ausflockung oder mit anderen Worten eine Vergrößerung der Teilchen ein, so daß man diese nun einzeln im Ultramikroskop beobachten und bestimmen konnte. Dabei ergaben sich in 1 cmm Humussol mit 0,2 % Trockenrückstand 7 ½ (7,55) Millionen Teilchen, deren Einzelgewicht demnach $2{,}6 \cdot 10^{-12}$ Gramm betrug.[3]) Humuskolloid zeigt, wie auch andere Kolloide, eine geringe Leitfähigkeit (bei 18°): ungereinigter Brei aus Hochmoor[4]) $100 \cdot 10^{-6}$ bzw. $105 \cdot 10^{-6}$, gleicher Brei aus Hochmoor, gereinigt[5]) $11{,}46 \cdot 10^{-6}$ bzw. $9{,}79 \cdot 10^{-6}$, wogegen z. B.[6]) Goldsol $12{,}7 \cdot 10^{-6}$, Platinsol $2{,}9 \cdot 10^{-6}$ Leitfähigkeit aufwies. Die Zahlen für die Leitfähigkeit des Humuskolloids sind aber wohl nur sehr bedingt zu einem Vergleich heranzuziehen,[7]) da außer dem Kolloid noch große Massen von nicht als eigentliches Humuskolloid zu bezeichnender Substanz in das Widerstandsgefäß eingebracht wurden.[8])

Wie Kieselsäure läßt sich die Humussäure, die in möglichst reiner Form elektronegative Eigenschaften[9]) zeigt, durch entsprechende Zusätze elektrisch umladen. Gewöhnlich berücksichtigt man, als dazu geeignet, besonders die H'- und OH'-Ionen. Da aber J. Billitzer[10]) fand, daß das in reinem Wasser elektrisch negative Platinkolloid in verdünnten, wäßrig-alkoholischen Lösungen positiv geladen ist, so wird vielleicht auch das Humuskolloid sich derartig verhalten; eine Annahme, die anscheinend durch eine ganz beiläufige Mitteilung J. M. van Bemmelens[11]) bekräftigt wird: „Merkwürdig ist es, daß umgekehrt die Löslichkeit (einer bestimmten Humussubstanz) . . . in Alkohol erhöht wird durch eine Säure." Da der

[1]) P. Ehrenberg und F. Bahr, Journ. Landw. **61**, 472 (1913); auch S. Odén, Intern. Mittlg. Bodenk. **6**, 102 (1916) und frühere Arbeiten dieses Forschers.

[2]) Wo. Ostwald, Grundriß der Kolloidchemie, 2. Aufl. (Dresden 1911) 286.

[3]) W. Thaer, a. a. O. 116.

[4]) A. Baumann und E. Gully, Mitteil. Bayer. Moorkulturanst. **4**, 71 (1910).

[5]) Ebenda 72, wo auch noch ähnliche Zahlenangaben.

[6]) W. R. Whitney und J. C. Blake, Journ. Amer. Chem. Soc. **26**, 1339 (1904).

[7]) Vgl. Journ. Landw. **61**, 439 u. 485 (1913).

[8]) Nach K. K. Gedroiz, Journ. exp. Landw. **1**, 49 (1900), steigert die Anwesenheit von Bodenteilchen bei Messung des elekt. Widerstandes der Erdböden denselben recht erheblich. Diese Steigerung kann sehr bedeutend sein und hängt u. a. auch von der mechanischen Zusammensetzung der Böden ab.

[9]) W. Thaer, a. a. O. 118; schon C. Sprengel, Bodenkunde, 307 (1844) wies dies nach.

[10]) J. Billitzer, Zeitschr. physik. Chem. **43**, 312 (1903).

[11]) J. M. van Bemmelen, Landw. Versuchsstat. **35**, 113 (1888).

gleiche Forscher aus der Lösung derselben Humussubstanz in Alkohol, also aus dem Humusalkosol, mit alkoholischer Kalilösung einen Niederschlag erhielt, so sehen wir, daß die Fällungsreaktionen gegenüber dem wäßrigen Humuskolloid völlig umgekehrt sind; Säuren verteilen und Basen fällen das Alkosol, während Basen das Humushydrosol verteilen, Säuren es fällen. Es scheint, daß Humuskolloid in Alkohol positiv, in Wasser negativ geladen ist. So würden auch W. Thaers eigenartige Beobachtungen über die Fällung und Wiederlösung von Humusausflockungen aus verdünntem Alkohol bei Zusatz von Chlorkalium, die oben erwähnt wurden, sich hierdurch und durch Umladung infolge der Adsorption erklären. Allerdings ist es gar nicht ausgeschlossen, daß auch Salzbildung und Veränderung der Löslichkeit in Alkohol eine sehr viel einfachere Erklärung der vorliegenden Verhältnisse ergibt. Jedenfalls bewiesen einige Vorversuche auf diesem Gebiet, daß es nicht leicht gelingt, überhaupt erhebliche Mengen von Humussubstanz in reinem Alkohol zu lösen und so ein säurefreies Alkosol des Humuskolloids herzustellen. Auch hier müssen erst eingehende Versuche einsetzen, bevor wir Behauptungen aufstellen können.

Da die Humuskolloide, solange sie noch nicht durch Verlust stabilisierender Elektrolytreste[1]) infolge von Dialyse ihre Teilchen vergrößert haben, aus Amikronen bestehen, so ist es nicht verwunderlich, daß sie nicht allzu schwierig tierische und pflanzliche bzw. künstlich hergestellte, halbdurchlässige Membranen durchdringen,[2]) mit anderen Worten, sich dialysierbar zeigen. Man hat auf diesen Umstand vielfach großes Gewicht gelegt, da man direkte Aufnahme von Humussubstanz und daran in irgendeiner Weise gebundenen Pflanzennährstoffen durch unsere Kulturpflanzen beweisen wollte.[3]) Heute zieht man wohl ebensowenig die Dialysierbarkeit gewisser Humusstoffe in Frage,[4]) wie man der direkten

[1]) J. Duclaux, Journ. Chim. et Phys. **5**, 29 (1907), nennt sie „aktiv"; E. Jordis, „Solbildner", Koll.-Zeitschr. **3**, 156 (1908); A. Lottermoser „hydrosolbildend", Koll.-Zeitschr. **2**, 1. Ergänzungsheft, IV (1907).

[2]) Bei einem Durchmesser von 0,1 μ beginnt nach Wo. Ostwald. Grundriß der Kolloidchemie, 2. Aufl. (Dresden 1911) 38, die Dialysierbarkeit.

[3]) Die Anschauung L. Grandeaus von der „matière noire" (Récherches expérimentelles sur le rôle des matières organiques du sol dans la nutrition des plantes) spielte hierfür auch eine Rolle. Vgl. sonst F. Dumont, Compt. rend. **124**, 1051 (1897). C. G. Eggertz, Forsch.-Geb. Agrikulturphysik **12**, 250 (1889). M. E. Simon, Zentralbl. Agrikulturchem. **8**, 74 (1875). F. H. Storer, Bull. Bussey Institution (2), **1**, 72 (1877). A. Petermann bzw. L. H. Friedburg, Landw. Versuchsstat. **15**, 468 (1872); W. Detmer, ebenda 284; C. F. A. Tuxen, ebenda **27**, 114 (1882); G. Loges, ebenda **32**, 201 (1886).

[4]) W. Thaer, a. a. O. 111, 119 u. 123.

Aufnahme derselben durch unsere Kulturpflanzen eine nennenswerte Bedeutung beimißt,[1]) nachdem so viel Versuche mit Wasser- und besonders Sandkultur die vorzüglichsten Erfolge ergeben haben.

Der Umstand, daß die Humuskolloide als zur Tröpfchengattung gehörig einer Ausfällung ziemlich viel Widerstand entgegensetzen, zumal einer dauernden, führt dazu, daß sie in Lösung weit verbreitet in der Natur vorkommen, wo größere Mengen von mehrwertigen, besonders Ca-Ionen, fehlen. Nicht nur unsere Torfmoore enthalten große Mengen von Humuskolloid und entsenden dies in die Gewässer, diese braun färbend, bis das Kolloid auf irgendeine Weise zusammengeballt wird[2]) oder sich unlösliche humussaure Salze bilden; auch in den Tropen treten die „schwarzen Flüsse“ sowohl in Zentralafrika wie im nördlichen Südamerika und Osten Asiens auf,[3]) wo z. B. Granitboden große Mengen von kalkarmem Wasser liefert. Im kleinen finden wir derartige Erscheinungen bereits im Harz oder Böhmerwald.

Wieweit das Humuskolloid Erscheinungen des „Alterns“ aufweist, ist nicht bekannt; überhaupt hat die gegenüber der ja in vieler Hinsicht ähnlichen kolloiden Kieselsäure vorhandene Schwierigkeit, daß das Humuskolloid für uns noch nicht eine fest umschriebene chemische Verbindung darstellt, bisher ein gründliches Studium erheblich behindert.

Über die Fällung ist bereits das Verhalten gegen Elektrolyten erwähnt. Besonders sei aber noch gesagt, daß die Salze der mehrwertigen[4]) Metalle, wie Kalzium, dann zumal auch die der Schwermetalle[5]), ziemlich stark fällend wirken. Hierbei spielt direkte Salzbildung eine voraussichtlich erhebliche Rolle. Daß Humuskolloid auch mit anderen Kolloiden Fällungen gibt, erweist z. B. M. Markadantes[6]) Beobachtung über Fällung mit Gerbsäure; andere ähnliche Vorkommnisse werden uns später beschäftigen. Und Humuskolloid beweist einmal seine bereits früher hervorgehobenen reduzierenden Eigenschaften, dann aber auch seine Fähigkeit Schutzwirkungen auszuüben, bei der Herstellung von kolloi-

---

[1]) Über Aufnahme solcher durch Corallorhiza und Epipogon und deren Bedeutung für diese Pflanzen: J. Reinke, Flora 56, 180, 216 (1873).

[2]) W. N. Hartley, Chem.-Ztg. 7, 750 (1883). R. Miklauz, Zeitschr. Moorkult. u. Torfverwert. 6, 313 (1908).

[3]) A. Muntz und V. Marcano, Compt. rend. 107, 908 (1888), die u. a. im Liter Flußwasser 28 mg Humuskörper finden; I. Reindl, Inauguraldissertation (Bern 1903); J. Früh und C. Schröter, Moore d. Schweiz (Bern 1904).

[4]) F. Schubert, Handb. Forstchemie (1848) 547; W. Detmer, Landw. Versuchsstat. 14, 263 (1871).

[5]) W. Detmer, a. a. O. u. W. Thaer, a. a. O. 117.

[6]) M. Markadante, Ber. Deutsch. chem. Ges. 7, 1463 (1874).

den Goldlösungen.[1]) Auch bei anderen Gelegenheiten, die später noch eingehend gewürdigt werden müssen, sind Schutzwirkungen von Humuskolloid beobachtet,[2]) während anderweit hergestelltes Goldkolloid ähnlich wie durch Albumosen durch Humuslösung zur Fällung kam.[3]) Beiläufig sei noch daran erinnert, daß auch die Humussubstanzen der Hochmoore gewissermaßen „gerbend" auf tierische Haut einzuwirken vermögen, wie die lederartige Beschaffenheit der Haut von Moorleichen, die teilweise vor Tausenden von Jahren ins Moor versenkt worden waren, erweist.

Über das Verhalten von Humusgallert ist wenig bekannt. Daß es deutliche Quellungserscheinungen zeigt, aber nicht die ursprünglich enthaltenen Wassermengen wieder aufzunehmen vermag, wenn es mehr oder weniger eingetrocknet war, steht fest.[4]) Die Ausdehnung jahrelang trocken gehaltenen Humusgallerts bei Verbringen in feuchte Luft ist so groß, daß die einzelnen Stückchen zerspringen und verhältnismäßig stark fortgeschleudert werden.[5]) Dagegen fördert Hydroxylion die Quel-

[1]) P. Ehrenberg und H. Pick, Koll.-Zeitschr. **5**, 30 (1909).

[2]) E. Fickendey, Journ. Landw. **54**, 343 (1906). G. Keppeler und A. Spangenberg, ebenda **55**, 299 (1907). Weiteres z. B.: P. Ehrenberg, Koll.-Zeitschr. **3**, 199 (1908); A. Spangenberg, Inauguraldissertation (Darmstadt 1910) 11 ff.

[3]) W. Thaer, a. a. O. 120.

[4]) E. Wollny macht über Quellung verschiedener Torfarten Angaben, nach denen die Quellung um so merklicher war, je weiter die Zersetzung fortgeschritten, mit anderen Worten, je mehr Humuskolloid vorhanden war. Es betrug die:

		Volumvermehrung bei Anfeuchtung in Proz. der trockenen Masse
Torf mit Salzsäure und Äther behandelt		15,9
Natürlicher Torf aus dem Donaumoor aus	0,0—0,2 m Tiefe	46,8
	0,2—0,5 „ „	50,2
	0,5—0,8 „ „	60,1
	0,8—1,1 „ „	83,8

Dieser Quellung entspricht ein Schwinden beim Austrocknen. Vgl. E. Wollny, Zersetzung d. organ. Stoffe (Heidelberg 1897) 237, 248 bis 249. G. Schübler, Grundsätze d. Agrikulturchemie **2**, 62 (1830). Ch. M. Rühlmann, Journ. Landw. **6**, 88 (1858); V. Zailer u. L. Wilk, Zeitschr. landw. Versuchswes. Österr. **10**, 799 (1907).

[5]) Nach noch unveröffentlichten, eigenen Beobachtungen. Vgl. ähnliche Feststellungen für trockenen Leim, E. Sauer, Koll.-Zeitschr. **17**, 135 (1915). Für Kieselsäuregel bei O. Bütschli und R. Zsigmondy, dessen Kolloidchemie (Leipzig 1912) 166, und bei E. Heinz, Inauguraldissertation Göttingen (1914) 19.

lung weitgehend.[1]) Es wirkt, wie dies seit langer Zeit bekannt ist,[2]) um so stärker auf die Quellung, Auflösung und Verteilung hin, je weniger es in seinen Wirkungen durch die entgegengerichteten Einflüsse mehrwertiger Metallionen beschränkt wird. Andererseits geht häufig in seiner Anwesenheit die bereits erwähnte, unter Sauerstoffaufnahme erfolgende chemische Veränderung der Humussubstanz vor sich, die dem Auge durch Dunkelfärbung auffällt.

Wie die Quellung, so ist auch ihr Verhalten beim Abpressen von Wasser bezeichnend für die kolloiden Eigenschaften der Humusstoffe. G. Keppeler hat in dieser Richtung sehr fesselnde Versuche[3]) mit Hochmoortorf ausgeführt. Sie zeigen, daß gerade die stärker kolloide, weitgehend zersetzte Torfmasse ihr Wasser auf Druck nur sehr schwer abgibt. Weiter war die Wasserabgabe durch Beifügung von zusammenballend wirkenden Stoffen zu fördern.[4])

Daß Frost stark auf Humusgallerten wirkt, zeigt das Verhalten des sog. Dopplerits, eines verhältnismäßig homogenen Humusgallerts, der nicht selten ziemlich kalkhaltig ist.[5]) Nach J. Früh zerfällt gefrorener Dopplerit nach dem Auftauen in zahlreiche kleine Stücke.[6])

Für die kolloiden Humate des Bodens gilt es in gleicher Weise wie für die kolloiden Silikate, daß sie ihrer Besonderheiten wegen gemeinsam an anderer Stelle zu besprechen sind.

Das kolloide Eisenhydroxyd.

Eisenverbindungen sind im Boden in verhältnismäßig großen Mengen und fast allerorten enthalten. Soweit sie auch zuerst in kristalloid-gelöstem Zustand vorhanden sein mögen, treten sie doch infolge der hydrolytischen Spaltung durch das Wasser[7]) bald in größerem oder geringerem

---

[1]) H. Fuchs, Inauguraldissertation 60 u. 68, (Rostock 1904).

[2]) Älteste Beobachtungen darüber wohl bei F. K. Achard, Drells Ann. **2**, 391 (1786); dann Th. de Saussure, Ostwalds Klassiker d. exakt. Naturwiss. **15**, 87 ff. (1804); G. Crome, Hermbstädt's Arch. f. Agrikulturchem. **4**, 202.

[3]) Nach Sonderdruck d. Referats Punkt 4 d. Tagesordn. Sitz. Zentral-Moor-Kommiss. 16. Dezemb. 1912, 3. Auch W. Schumacher führte schon Preßversuche mit Torf aus, Landw. Versuchsstat. **5**, 210, (1863).

[4]) G. Keppeler, a. a. O. 5.

[5]) So nach Mitteilungen von J. Früh, a. a. O. Man vergleiche aber Angaben von H. Immendorff, Mitteil. Verein Förder. Moorkultur (1900) 227.

[6]) J. Früh, Torf und Dopplerit, (Zürich 1883) 50.

[7]) Diese ist besonders in sehr verdünnten Lösungen, wie sie für den Boden in Frage kommen dürften, sehr weitgehend. Vgl. U. Antony und G. Giglio, Gazz. chim. ital. **25**, II, 1 (1895). Wo. Ostwald, Grundriß d. Kolloidchemie, 1. Aufl. (Dresden 1909) 311.

Umfang in Form des Eisenhydroxydkolloids auf,[1]) das dabei bezüglich eines Gehalts an Elektrolyten[2]) sich nicht anders verhält, als die vorbesprochenen Kolloide. Es stammt also das kolloide Eisenhydroxyd im Boden aus dessen Silikaten und sonstigen eisenhaltenden Verbindungen, aus denen es sich, wohl stets über den kristalloid-gelösten Zustand hinüber, gebildet hat.[3])

Die Mengen, in denen kolloides Eisenhydroxyd im Wald- und Ackerboden vorkommt, dürften ebensowenig wie die eines anderen Bodenkolloids zurzeit genau zu bestimmen sein.[4]) Sie werden gewiß nicht weniger großen Schwankungen unterliegen, als dies für die übrigen gilt, mit Ausnahme etwa der Humuskolloide, die unter besonderen Bedingungen in den Mooren und ihren Gewässern in so erheblichem Umfange[5]) vorkommen. Freilich findet sich auch Eisenhydroxydkolloid, wohl in verschiedenen Altersformen, in Lateriten in sehr erheblicher Menge.[6]) Das kolloide Eisenhydroxyd ist, im Gegensatz zu den bislang besprochenen Kolloiden, zu den Körnchenkolloiden zu zählen, allerdings nicht, ohne daß es auch stärkere Anklänge an die Tröpfchenkolloide zeigte. Denn bei Ausfällung erhält man, im Gegensatz zu dem Verhalten der besonders typischen Metall- und Sulfidsole, gallertartige, also stark wasserhaltige Flockungen.[7]) Auch lehnt sich Eisenhydroxydkolloid insofern an die ja aus Tröpfchenkolloiden entstandenen Gele bzw. an die Tröpfchenkolloide selbst an, als es bei Ausflockung eine Ausdehnung, bei Wiederlösung demnach eine Zusammenziehung aufweist.[8]) Besonders für die Vorgänge im Erdboden bedeutungsvoll erscheint aber die Neigung kolloider Ferrihydroxydlösungen, sehr zähe und halbfeste Oberflächen-

[1]) Sehr anschauliche Versuche dazu bei Wi. Ostwald, Grundlinien d. anorgan. Chemie, 2. Aufl. (Leipzig 1904) 593.

[2]) E. Duclaux, Compt. rend. **143**, 296 (1906). Vgl. auch oben 59 Anmerk. 1.

[3]) P. Ehrenberg, Mitteil. landw. Inst. Univ. Breslau **4**, 480 (1908).

[4]) Über das Vorkommen von Eisenhydroxyd im Boden vgl. auch Angaben bei E. Ramann, Bodenkunde, 3. Aufl. (Berlin 1911) 100 u. 245.

[5]) Vgl. Chem. Centr. **78**, 1146 (1907), die Angaben von O. Aschan. Weitere Literatur oben 60 Anmerk. 3.

[6]) Th. Schlösing d. Ä., Compt. rend. **132**, 1203 (1901) gibt bei Madagassischen Lateriten bis 20 % Fe_2O_3 an. S. Passarge hebt Menge und Bedeutung des Eisenhydroxyds im Laterit hervor. Report 6. internat. geograph. Congress (London 1895).

[7]) H. Freundlich, Kapillarchemie (Leipzig 1909) 389.

[8]) Zusammenziehung beim Quellen von Gallerten, wohlgemerkt, wenn man Gallert und Lösungsmittel in Rücksicht zieht, wies u. a. Ch. Lüdeking, Ann. d. Phys. **35**, 552 (1888) nach. Das Gallert allein betrachtet dehnt sich natürlich beim

häutchen zu bilden, wie dies W. Ramsden[1]) dargetan hat. — Wir werden ähnliches bei dem später zu besprechenden Kolloidton vorfinden. Möglicherweise vertritt diesen auf den indischen Regurböden ein kolloides Eisenoxyd-Tonerdesilikat.[2]) — Bezüglich der Fällungsauslösung ist aber nicht zu verkennen, daß das übrigens positiv geladene Kolloid deutlich auf negative Ionen und zwar besonders mehrwertige reagiert.[3]) Auch Kohlensäure wirkt fällend, wie dies nahe liegt.[4]) Positive Ionen dagegen, besonders aber Wasserstoffionen, wirken auflösend.[5]) Die Fällung braucht übrigens bei sehr geringen Zusätzen nicht sogleich eine vollständige zu sein, sondern es vermag das Kolloid trotz Vergrößerung seiner Teilchen noch recht haltbar zu bleiben.[6]) Auch diese Tatsache sowie auch der Vorgang, daß durch Kochsalz ausgefälltes Eisenhydroxydkolloid durch bloßes Auswaschen mit Wasser wieder in Lösung gebracht werden konnte,[7]) scheint mir ebenso wie die Möglichkeit einer vom Eisenhydroxyd veranlaßten Schutzwirkung[8]) auf eine mannigfach auch zu den Tröpfchenkolloiden hinneigende Stellung des Eisenhydroxyds zu deuten. Ebenso zeigt es, wie sonst Tröpfchenkolloide,[9]) eine gewisse Gegenwirkung des Durcharbeitens gegen das Altern.[10]) Was seine Veränderlichkeit anbelangt, so zeigen sich Sole zwar vielfach als sehr beständig,[11]) doch kommen auch Ausnahmen vor, und die Verhältnisse der Entstehung bedingen je nach den Umständen sehr wechselnde Eigenschaften.[12]) Es ist besonders auf die Mitteilungen A. Lottermosers[13]) über die Hydrosole der gewöhnlichen und der Meta-Formen

Quellen, und zwar vielfach ganz erheblich, aus. Ausdehnung bei Ausfällung von Eisenhydroxydkolloid vgl. S. E. Linder und H. Picton, Journ. Chem. Soc. **67**, 72 (1895); **87**, 1907 u. 1923 (1905).

[1]) W. Ramsden, Proc. Roy. Soc. **72** 156 (1903).

[2]) W. H. Harrison und M. R. Ramaswami Sivan, Mem. Dept. Agricult. India **2**, 273 (1912).

[3]) W. B. Hardy, Zeitschr. physik. Chem. **33**, 326 (1900), und H. Freundlich, Kapillarchemie (Leipzig 1909) 352.

[4]) E. Grimaux, Compt. rend. **98**, 105 (1881).

[5]) G. Geffken, Zeitschr. physik. Chem. **49**, 299 (1904).

[6]) S. E. Linder und H. Picton, Journ. Chem. Soc. **87**, 1922 (1905).

[7]) Ebenda 1924.

[8]) R. Ruer, Zeitschr. anorgan. Chem. **43** 85 (1905).

[9]) oben 51.

[10]) W. Biltz und A. v. Vegesack, Zeitschr. physik. Chemie **68** 374 (1910).

[11]) H. Freundlich, Kapillarchemie (Leipzig 1909) 343.

[12]) J. M. van Bemmelen, Absorption (Dresden 1910) 70—71.

[13]) A. Lottermoser, J. M. van Bemmelen-Gedenkboek (Helder 1910) 152.

hinzuweisen. Die letzteren,[1]) in die das eigentliche kolloide Hydroxyd durch Zeitwirkung, Kochen oder andere Umstände übergeführt werden kann, zeigen gröbere Teilchen, mit anderen Worten, eine kleinere Gesamtoberfläche und verhalten sich sonst wie typische Körnchenkolloide. Ähnlich zeigte sich ja beim Humuskolloid, daß ein bereits zu etwas größeren Komplexen zusammengetretenes Sol fast wie ein Körnchenkolloid reagierte.[2]) Und theoretisch ließe sich, da mit zunehmender Kleinheit der Teilchen auch eine wachsende Erniedrigung des Schmelzpunktes und Vermehrung der Lösbarkeit usw. zusammengehen,[3]) wohl auch annehmen, daß unter Umständen, nicht etwa generell, ein Tröpfchenkolloid durch Vergröberung seiner Teilchen in ein Körnchenkolloid überzugehen vermag. Ist doch theoretisch die Möglichkeit vorhanden,[4]) daß bei sehr hohem Zerteilungsgrade auch feste Teilchen sich zu Tropfen umwandeln. — Jedenfalls wird man auch hier ein „Altern" als vorhanden ansehen müssen, worauf u. a. besonders lang ausgedehnte Versuche von J. M. van Bemmelen hindeuten.[5]) Auch R. Zsigmondy fand in einem längere Zeit aufbewahrten Eisenoxydhydrosol nachweisbare Teilchenvergrößerung.[6]) — Die höchste erreichte Konzentration von Eisenhydroxydkolloid beträgt 48 g $Fe(OH)_3$ im Liter.[7])

Auch die Eisenhydroxydsole ballen sich, wie die Kieselsäure, unter Wärmeentwicklung zusammen,[8]) so daß also Kälte diesen Vorgang begünstigen muß. Es fällt denn auch durch Frost Eisenhydroxydgel aus, welches wie das der Kieselsäure wenig elastisch ist,[9]) löst sich aber je nach den Herstellungsbedingungen, so Vorhandensein oder Fehlen von stabilisierenden Elektrolyten, zumal bei geringer Konzentration, durch Auftauen mehr oder weniger wieder auf.[10]) Einmal gebildetes Gel dagegen

[1]) Vgl. auch A. Hantzsch, Zeitschr. anorg. Chem. **30**, 338 (1902).

[2]) Vgl. auch oben 57.

[3]) G. Hulett, Zeitschr. physik. Chem. **37**, 385 (1901). P. Pawlow, ebenda **65**, 1, 545 (1909).

[4]) Wo. Ostwald, Grundriß d. Kolloidchemie (Dresden 1911) 68—75, andere Ansichten bei R. Zsigmondy, Kolloidchemie (1912) 186, die sich aber unter Umständen auch einigermaßen vereinen ließen.

[5]) J. M. van Bemmelen, a. a. O. 74—75 u. 148, wie 382. Ferner B. Reinitzer, Monatsh. Chemie **3**, 259 (1882).

[6]) R. Zsigmondy, Kolloidchemie (1912) 184.

[7]) Art. Müller, Allgem. Chemie d. Kolloide (Leipzig 1907) 8.

[8]) M. Berthelot, Essai de mécan. chimique **2**, (Paris 1879) 303.

[9]) H. Freundlich, Kapillarchemie (Leipzig 1909) 486.

[10]) F. Krafft, Ber. Deutsch. chem. Ges. **32**, 1614 (1899). G. Malfitano, Compt. rend. **143**, 1411 (1906). O. Bobertag, K. Feist und H. W. Fischer, Ber.

scheint durch Frost nicht weiter wesentlich verändert zu werden, vielmehr nur dem weiter fortschreitenden Alterungsvorgang zu unterliegen. Durch Druck, selbst recht großen, wird die Beständigkeit von Eisenhydroxydsolen, soweit bislang Beobachtungen vorliegen, nicht vermindert. Das gleiche gilt übrigens vom Kieselsäurekolloid.[1]) Und wie das letztere Luft stark absorbiert und darin reines Wasser übertrifft, so ist ein ganz entsprechender Vorgang, die Absorption von Kohlensäure, für Eisenhydroxydkolloid beobachtet worden.[2]) Freilich kann hierfür wohl auch die basische Reaktion des Eisenhydroxyds bedingend sein.[3]) Die Lösung des kolloiden Eisenhydroxyds enthält nach R. Zsigmondy[4]) und A. Dumanski[5]) neben einzelnen größeren und leicht sichtbar zu machenden Teilchen in der Hauptsache Amikronen. Sie wird übrigens, wie später beim kolloiden Aluminiumhydroxyd näher zu besprechen ist, ebenfalls durch Goldkolloid ausgefällt.[6])

Was die Fähigkeit zu diffundieren anbelangt, so wird diese natürlich wieder von der Vorgeschichte und etwa eingetretener teilweiser Zusammenballung zu größeren Teilchen abhängen. Es kommen jedenfalls Eisenhydroxydsole vor, die durch die Wände von Tonzellen hindurchdiffundieren.[7]) Andere wurden durch Kollodiumsäcke zurückgehalten.[8])

Die elektrische Leitfähigkeit von Eisenhydroxydsol beträgt nach W. R. Whitney und J. C. Blake $35,7 \cdot 10^{-6}$ in reziproken Ohms.[9]) Auch J. Duclaux bestätigte ihr Vorhandensein,[10]) erhielt aber $200 \cdot 10^{-6}$,[11]) während G. Malfitano keine erwähnenswerte Leitfähigkeit annimmt.[12])

Deutsch. chem. Ges. **41**, 3676 (1909). A. Lottermoser, ebenda **41**, 3977 (1909). A. Gutbier und F. Flury, ebenda 4259. H. Freundlich, Kapillarchemie (Leipzig 1909) 369.

[1]) E. A. Schneider, Ber. Deutsch. chem. Ges. **24**, 2247 (1891).

[2]) G. Geffken, Zeitschr. physik. Chem. **49**, 299 (1904).

[3]) A. Findlay, Koll. Zeitschr. **3**, 169, (1908); vgl. betreffs Einfluß von Kolloiden auf Absorption von Kohlendioxyd in Wasser: A. Findlay und K. G. M. Creigton, Chem. Zentralbl. **1**, 258, (1909).

[4]) R. Zsigmondy, Erkenntnis d. Kolloide (Jena 1905) 148.

[5]) A. Dumanski, Koll.-Zeitschr. **8**, 232 (1911).

[6]) R. Zsigmondy, a. a. O. 149. Ferner W. Biltz, Ber. Deutsch. chem. Ges. **37**, 1104 (1904).

[7]) S. E. Linder und H. Picton, Journ. Chem. Soc. **67**, 63 (1895) u. **87**, 1922 (1905). Vgl. weitere Literatur bei R. Zsigmondy, Kolloidchemie, 31 (1912).

[8]) A. Dumanski, Koll.-Zeitschr. **8**, 232 (1911).

[9]) In Leitfähigkeitswasser untersucht, Journ. Amer. Chem. Soc. **26**, 1339 (1904).

[10]) J. Duclaux, Koll.-Zeitschr. **3**, 133 (1908).

[11]) Derselbe, Compt. rend. **140**, 1468 (1905).

[12]) G. Malfitano ebenda **139**, 1221 (1904).

Die Ladung des Kolloids ist positiv,[1]) was demnach die entsprechenden Einflüsse auf die Fällungswirkung der Elektrolyten bedingen muß; so wirken hier u. a. die positiven H-Ionen lösend bzw. solbildend, die negativen OH-Ionen fällend.[2]) Für die Anhäufung von Eisenhydroxydkolloiden in den Lateriten der Tropen dürfte der Ladungssinn derselben insofern eine Rolle spielen, als ihr Eisenhydroxyd bei geringerer Konzentration der infolge der starken Hydrolyse in den Tropenböden leicht entstehenden OH-Ionen beweglich bleibt, also nicht gut positiv geladen sein kann. Anders verhält sich das gewiß positiv geladene Aluminiumhydroxyd, während die negativ geladene Kieselsäure in Lösung erhalten und ausgewaschen wird.[3]) Beachtenswert ist auch, daß außer der Bedeutung der Ionenladung für die Fällung, die sich als sehr stark z. B. beim Vergleich der fällenden Wirkung von zweiwertiger Schwefel- und einwertiger Salzsäure zeigt, — positives Eisenhydroxydsol fiel aus: durch mindestens 0,5 Millimol Schwefelsäure im Liter, beziehungsweise durch mindestens 401 Millimol Salzsäure im Liter[4]) — auch noch bei den negativ geladenen Anionen organischer Säuren die Fähigkeit, mehr oder weniger stark adsorbiert zu werden, eine Rolle spielt.[5]) Endlich wird Eisenhydroxydsol natürlich durch andere Kolloide in geeigneter Menge und Ladung ausgefällt, so durch Kieselsäurekolloid,[6]) Humuskolloid[7]) und andere, wobei jedoch nicht zu vergessen ist, daß solche Tröpfchenkolloide bei anderen Mengenverhältnissen auch Schutzwirkungen auszuüben in der Lage sind, es also jedenfalls dann nicht zu einer Fällung kommen lassen. So erhielten

B. Aarnio bei Versuchen mit Eisenhydratsol und Humuslösung:[8])

Menge des Eisenhydratsols	Menge der Humuslösung	Erfolg
0,5— 6,5 ccm	5 ccm	nicht ausgefällt
7 —17,5 „	5 „	ausgefällt
18 —20 „	5 „	nicht ausgefällt

[1]) W. Biltz, Ber. Deutsch. chem. Ges. **37**, 1100 (1904).

[2]) Unter besonderen, für uns hier kaum in Frage kommenden Bedingungen sind Eisenhydroxydsole auch vom Entstehen an negativ geladen. A. Schmauß, Physik. Zeitschr. **16**, 506 (1905). H. W. Fischer, Biochem. Zeitschr. **27**, 223, 238, 311 (1910). Möglicherweise spielen solche Vorkommnisse in der Natur eine Rolle.

[3]) W. Meigen, Geolog. Rundsch. **2**, 206 (1911). Vgl. unten 424 u. f.

[4]) H. Freundlich, Kapillarchemie (Leipzig 1909) 352.

[5]) S. E. Linder und H. Picton, Journ. Chem. Soc. **87**, 1906 (1905).

[6]) W. Biltz, Ber. Deutsch. chem. Ges. **37**, 1101 (1904).

[7]) E. Wollny, Zersetz. d. organ. Stoffe (Heidelberg 1897) 217, 220, 233.

[8]) B. Aarnio, Intern. Mittlg. Bodenk. **3**, 134/5 (1913).

dgl. mit anderer Humuslösung:

Menge des Eisenhydratsols	Menge der Humuslösung	Erfolg
0,1— 0,9 ccm	5 ccm	nicht ausgefällt
1 —15 „	5 „	ausgefällt
16 —20 „	5 „	nicht ausgefällt.

A. Baumann und E. Gully bei Versuchen mit Eisenhydroxyd und unreinem[1]) Humuskolloid:[2])

Konzentration der kolloiden Eisenhydroxydlösung	Aus der Lösung wurde von dem Sphagnumtorf adsorbiert Eisenhydroxyd in Prozenten
$^1/_2$ normal	0
$^1/_5$ „	0
$^1/_{10}$ „	1,41
$^1/_{20}$ „	3,24
$^1/_{50}$ „	11,24
$^1/_{100}$ „	34,47
$^1/_{250}$ „	100
$^1/_{500}$ „	71,40
$^1/_{1000}$ „	0

Von größter Bedeutung für die Fragen der Bodenkunde sind die verschiedenen Formen des Eisenhydroxyds, die gelbe bis braune, wasserreichere, und die rote, wasserärmere, die sich bei höheren Wärmegraden bildet.[3]) Das Vorhandensein von Humusstoffen scheint in der Natur die Bildung der gelben Form zu begünstigen. Offenbar liegt auch hier eine Schutzwirkung vor, denn das gelbe Eisenhydroxyd ist nach G. Malfitano[4]) feiner zerteilt, das rote grobteilig. Auch stärkere Konzentration wirkt mehr auf Bildung des roten Kolloids hin. Leider sind unsere Kenntnisse hier noch sehr unzureichend.

Die sonstigen kolloiden Eisenverbindungen des Bodens sind, gleichwie die entsprechenden des Humus und der Kieselsäure, an anderem Ort zu besprechen.

Die kolloide Tonerde.

Dies Kolloid wird in seinen Eigenschaften im allgemeinen dem soeben besprochenen recht ähnlich sein, zumal es ebenfalls ein positiv geladenes[5])

---

[1]) Sphagnumtorf.

[2]) A. Baumann und E. Gully, Mitteil. Bayer. Moorkulturanstalt **4**, 100 (1910).

[3]) K. Glinka, Typen d. Bodenbildung 56/57, (Berlin 1914).

[4]) G. Malfitano, Zeitschr. physik. Chemie **68**, 244 (1910); W. D. Bancroft, Journ. physic. Chem. **19**, 132 (1915).

[5]) A. Lottermoser, Anorganische Kolloide (Stuttgart 1901) 76. Ebenso W. Biltz, Ber. Deutsch. chem. Ges. **37**, 1100 (1904).

Körnchenkolloid darstellt. Es mag daher bei dem hier nur in geringerem Umfange in Betracht kommenden Vorliegen von experimentellen Arbeiten richtig sein, in Zweifelsfällen solange entsprechendes Verhalten wie beim Eisenhydroxydkolloid anzunehmen, bis durch den Versuch das Gegenteil erwiesen ist.

Das Vorkommen von kolloider Tonerde bzw. Tonerdehydrat[1]) im Boden ist nach Th. Schlösing d. Ä. nur gering, soweit es sich um unsere europäischen Böden handelt; in heißen Gegenden ändert sich dies, und in Erdproben aus Madagaskar fand dieser Forscher teilweise sehr viel freie Tonerde, der er übrigens keinen Einfluß auf die Zähigkeit des Bodens zuschreibt. Sie entstammt natürlich der Zersetzung der Silikate[2]) und entsteht wie Eisenhydroxydkolloid durch Hydrolyse der wasserlöslichen Salze. E. W. Hilgard neigt ähnlichen Ansichten zu und sieht besonders in dem Vorkommen von Gibbsit und Bauxit einen Beweis für die Richtigkeit der Annahme freien Tonerdehydrates im Boden, wobei er in dem Kalkgehalt des Bodens einen wesentlichen Faktor für die dazu führende Zersetzung der Gesteine sieht.[3])

J. M. van Bemmelen glaubt in Lateriten neben Hydrargyllit amorphe, also wohl kolloide Tonerde als vorhanden ansehen zu müssen.[4]) Er tadelt an F. Wohltmanns Handbuch des tropischen Ackerbaues von 1892 besonders, daß es nichts über freie Tonerde des Bodens bringt, muß also deren Bedeutung für Laterite recht hoch anschlagen.[5]) M. Bauer[6]) hebt die Bedeutung der Bildung von Aluminiumhydroxyd für die Entstehung des Laterits hervor, glaubt aber auch für unsere Gegenden die Ausbildung von Tonerdehydraten bei der Verwitterung nicht ablehnen zu sollen.

P. Rohland endlich nimmt, ohne allerdings anscheinend auf experimentelles Material gestützt zu sein, an, daß Tone in Berührung mit Wasser, wozu ja im Boden fast ständig Gelegenheit ist, u. a. auch kolloides Tonerdehydrat bilden.[7]) Was theoretische Ableitung anbetrifft, so habe auch ich diese Frage flüchtig behandelt[8]) und bin zu der Ansicht gekommen, daß Aluminiumhydroxydsol zumeist im Boden nur kurze

[1]) J. M. van Bemmelen, Die Absorption (Dresden 1910) 44.

[2]) Th. Schlösing d. Ä. Compt. rend. **132**, 1203 (1901).

[3]) E. W. Hilgard, Soils (Neuyork 1906) 389.

[4]) J. M. van Bemmelen, Zeitschr. anorg. Chem. **42**, 265 (1904).

[5]) J. M. van Bemmelen, Arch. Néerland. Scienc. exact. natur. (2), **10**, 208 (1905).

[6]) M. Bauer, Neues Jahrb. Mineralogie **2**, 163, 216 u. 219 (1898).

[7]) P. Rohland, Zeitschr. anorg. Chem. **56**, 46 (1907).

[8]) P. Ehrenberg, Mitteil. landw. Inst. Univ. Breslau **4**, 480 (1908).

Zeit vorkommen dürfte, darauf aber, wie bereits Th. Graham ermittelte,[1]) ausfällt.[2]) Allerdings mag gerade im Boden gelegentlich Schutzwirkung durch Humuskolloid u. dgl.[3]) dem entgegenarbeiten. Jedenfalls aber reagiert das Tonerdekolloid sonst äußerst empfindlich auf Elektrolyten, sogar wenige Tropfen Brunnenwasser brachten[4]) eine 2—3 % Lösung zum Zusammenballen. Hierbei wirken, der positiven Ladung des Tonerdekolloids entsprechend, die Anionen,[5]) und zwar nach ihrer Wertigkeit. Weiterhin veranlaßt gründliche Entfernung von stabilisierenden Elektrolyten durch Dialyse auch bei dem hier vorliegenden Kolloid Ausfällung, was ebenso bereits von Th. Graham beobachtet wurde.[6]) Daß die beiden von ihm angenommenen Formen der kolloiden Tonerde, deren eine er als Metatonerde bezeichnet, nur ihrer Entstehungsgeschichte nach verschiedene Kolloide sind, ist durch Untersuchungen A. Lottermosers[7]) entschieden worden.

Der Frost bringt ebenfalls Aluminiumhydroxydkolloid zum Ausfallen, falls nicht beigemengte Salze die mit dem Auftauen Hand in Hand gehende Wiederlösung begünstigen. So erhielt F. Krafft auf diese Weise aus dem Kolloid ausgefrorene, stark glänzende, durchsichtige Häutchen,[8]) während O. Bobertag, K. Feist und H. W. Fischer nur zu einer mikro- oder makroskopischen Trübung gelangten.[9]) A. Lottermoser brachte dann, auf die soeben erwähnte Anschauung hin, Klärung in diese Widersprüche.[10])

Wie das Eisenhydroxydkolloid, vermag auch das kolloide Aluminiumhydroxyd mancherlei Erscheinungen aufzuweisen, die dem Verhalten von Tröpfchenkolloiden ähneln.[11]) Es weist Schutzwirkung auf,[12]) läßt sich nach B. Reinitzer[13]) sogar zu einer farblosen, durchsichtigen bis durch-

[1]) Nach R. Zsigmondy, Erkenntnis d. Kolloide (Jena 1905) 32.

[2]) Anders vielleicht zum Teil bei sauerer Reaktion der Bodenlösung.

[3]) Art. Müller erhielt schon durch Verwendung von Glyzerin als Schutzmittel Tonerdesöle, Zeitschr. anorg. Chem. **43**, 320 (1905).

[4]) Nach Th. Graham, a. a. O. bei R. Zsigmondy.

[5]) S. Kawamura, Journ. College Science (Imp. Univers. Tokyo 1908) **25**, Art. 8, 28.

[6]) Bei R. Zsigmondy, a. a. O. 32—33.

[7]) Vgl. oben 51/52.

[8]) F. Krafft, Ber. Deutsch. chem. Ges. **32**, 1614 (1899).

[9]) Ebenda **41**, 3676 (1909).

[10]) Ebenda 3976. Gleiche Ansichten bei A. Gutbier und F. Flury, ebenda 4259.

[11]) H. Freundlich, Kapillarchemie (Leipzig 1909) 389.

[12]) Art. Müller, Zeitschr. anorg. Chem. **57**, 312 (1908).

[13]) B. Reinitzer, Monatsh. Chemie **3**, 260 (1882).

scheinenden, gummiähnlichen, in feuchtem Zustande biegsamen Masse konzentrieren, in der es eine gewisse Ähnlichkeit mit dem Kolloidton aufweisen würde, ist ferner dem Altern in erheblicher Weise unterworfen.[1]) Sogar unter Wasser aufbewahrt, verändert es sich.[2]) Durch entgegengesetzt geladene Kolloide in geeigneten Mengen, wie z. B. durch Kieselsäurekolloid, wird es ausgefällt.[3]) Auch andere Kolloide der Tröpfchenart entnehmen sogar den stark hydrolytisch gespaltenen Tonerdesalzen kolloide Tonerde und halten sie infolge von Ausfällung fest.[4]) Das Zusammentreten verschiedenartiger Kolloidteilchen zu größeren Flocken bei derartigen Erscheinungen konnte R. Zsigmondy sogar unter dem Ultramikroskop für kolloide Tonerde und Goldkolloid verfolgen.[5]) Es bildet sich dabei[6]) ein rot gefärbter Lack, ganz ähnlich wie beim Schütteln von Karminlösung mit Tonerdegel Karminlack entsteht. W. Biltz fand bei den gleichen Kolloiden auch die Erscheinung, daß, worauf bereits hingewiesen wurde, gegenseitige Ausfällung nur bei bestimmten Konzentrationen erfolgte, sonst aber die Lösung klar blieb. So erhielt er:

Goldlösung gegen Aluminiumhydroxydlösung.[7])

Al_2O_3 mg	Beobachtete Erscheinungen nach Mischung	vier Stunden später
0,90	keine Fällung	keine Fällung
0,54	keine Fällung	keine Fällung
0,18	geringe Blaufärbung	Fällung roten Purpurs
0,09	starke Blaufärbung	geringe Fällung
0,04	Bläuung	sehr feinpulveriger, blauer Purpur
0,02	äußerst schwache Bläuung	sehr feinpulveriger, blauer Purpur
0,009	keine Fällung	keine Fällung

Als Erklärung des bei stärkerem Zusatz des einen Kolloids eintretenden Ausbleibens der Fällung nimmt der genannte Forscher elektrische

[1]) J. M. van Bemmelen, Absorption (Dresden 1910) 44.
[2]) Ebenda 53. J. M. van Bemmelens Untersuchungen sind zum Teil von A. A. Baikow, Journ. russ. phys.-chem. Ges. **39**, 660 (1907) wiederholt worden.
[3]) W. Biltz, Ber. Deutsch. chem. Ges. **37**, 1101 (1904).
[4]) A. Lumière und A. Seyewetz, Bull. soc. chim. **35**, 676 (1906).
[5]) R. Zsigmondy, Über Kolloidchemie (Leipzig 1907) 36.
[6]) Verh. Ges. Deutsch. Naturforscher u. Ärzte (Hamburg 1901) 198. Auch R. Zsigmondy, Erkenntnis der Kolloide (Jena 1905) 119.
[7]) W. Biltz, a. a. O. 1104: verwendet je 10 ccm Goldlösung mit 1,4 mg Gold und 5 ccm Aluminiumhydroxydlösung. Gleiche Erscheinungen ergab Eisenhydroxydkolloid mit Goldlösung.

Umladung durch dasselbe an. Dies ist nicht unwahrscheinlich, zumal die bekanntlich weitgehend hydrolytisch gespaltenen Aluminiumsalze nach E. F. Burton kolloide Gold- und Platinlösungen auch umzuladen vermögen.[1])

Eingedampftes Tonerdekolloid trocknet zu einem dünnen Häutchen zusammen, das sich in Wasser unter Quellung wieder löst; allerdings enthielten diese Kolloide nicht unerhebliche Elektrolytmengen, die wohl auf das Wiederauflösen günstig wirkten.[2])

Die Verbindungen, welche die kolloide Tonerde ebenso wie die bisher besprochenen Bodenkolloide bilden, sollen jetzt mit diesen zusammen ihre Besprechung finden.

Die kolloiden Verbindungen der Kieselsäure, Tonerde, des Eisenhydroxyds und der Humusstoffe.

Die ältere Schule der Agrikulturchemie war, den damals überhaupt in der Chemie herrschenden Anschauungen entsprechend, geneigt, überall nach festen Verhältnissen zusammentretende Verbindungen zu sehen, wo zwei Stoffe sich vereinten oder zusammen ausfielen; so ergaben sich für die hier in Betracht kommenden Kolloidstoffe allerlei Verbindungen mit Metallen oder untereinander, über die heute infolge der Untersuchungen von J. M. van Bemmelen wesentlich andere Vorstellungen üblich sind, obwohl neuerdings und vielfach gewiß mit Recht auch die Bildung wenig stabiler chemischer Verbindungen als sehr bedeutungsvoll angesehen wird.

Es kann dabei für diesen Ort dahingestellt bleiben, ob das Verfahren der Bodenuntersuchung J. M. van Bemmelens zur Gesamtfeststellung aller dieser Kolloide, die er als Verwitterungssilikat bezeichnete, nun wirklich als durchaus geeignet anzusehen ist, was ich nicht unbedingt behaupten möchte.[3]) Dabei steht aber außer Zweifel, daß sie der in dieser Richtung wohl nahezu völlig wertlosen Bestimmung[4]) der „Tonsubstanz" nach der Methode der Kgl. geologischen Landesanstalt Berlin[5]) weit überlegen ist.[6])

[1]) E. F. Burton, Philosoph. Mag. (6) **12**, 472 (1906).

[2]) Ebenda 368. Art. Müller, Zeitschr. anorgan. Chem. **57**, 312 (1908).

[3]) Für Interessenten sei auf die Originalarbeit „Contributions à la connaissance des produits de décomposition des silicates dans les terrains argileux volcaniques et latéritiques, Arch. Néerland. Scienc. exact. natur. (2), **10**, 207 (1905) verwiesen, wie auch auf die Verhandlungen über dies Thema auf der II. Internationalen Agro-Geologen-Konferenz (Stockholm 1910); vgl. die „Verhandlungen" (1911) 28—54.

[4]) C. Luedecke, Abhandl. hess. Geol. Landesanstalt **3**, 167 (1899).

[5]) Vgl. z. B. Jahrbuch k. preuß. Geol. Landesanstalt für 1902, **23**, 6 (Berlin 1905).

[6]) Vgl. Literatur zu diesen Fragen in Internat. Mittlg. Bodenk. und H. Müller, Inauguraldissertation, (Berlin 1914), 7.

Bereits bei Besprechung der einzelnen Bodenkolloide und ihres Ausfallens habe ich darauf hinweisen können, daß sie vielfach schon als Sol nicht als rein zu bezeichnen sind, sondern oft direkt als Bedingung für diesen Zustand Elektrolyte enthalten, die als „aktiv", als Stabilisatoren oder anderweit bezeichnet werden.[1]) Hierbei handelt es sich freilich meist um Mengen, die gegenüber der Hauptmasse des Kolloids verschwinden. Größer werden diese, wenn ein Kolloid, durch einen Elektrolyten gefällt, nun Teile des fällenden Elektrolyten mit in die Zusammenballung reißt,[2]) doch ist auch damit noch nicht der Bedeutung des Vorgangs voll Rechnung getragen. Denn auch das ausgefallene Gel besitzt immer noch eine außerordentlich ausgedehnte Oberfläche und vermag aus der umgebenden Lösung, soweit sie geeignete Stoffe enthält, diese unter Umständen noch weitgehend zu adsorbieren.[3])

Daß sich in der Bodenflüssigkeit des Waldes oder Ackerlandes vielerlei zur Adsorption geeignete Stoffe finden, andere Kolloide, mehr oder weniger hydrolytisch gespaltene Salze usw., bedarf kaum der Erwähnung. So liegt es nahe, daß die Kolloide des Bodens in weitem Umfange andere Stoffe aufnehmen und mit ihnen das bilden werden, was man früher als fest umschriebene Verbindungen, heute vielfach als Adsorptionsverbindungen ansieht.[4]) R. Gans, der neuerdings wieder die alten Anschauungen, allerdings nur für gewisse Fälle, zu vertreten sucht, bezeichnet seine Versuche selbst als noch nicht genügend beweiskräftig, so daß vorerst ihre Berücksichtigung kaum erforderlich sein dürfte.[5]) Auch G. Tschermaks Versuche,[6]) die Kieselgallerten, wie sie sich aus verschiedenen Silikaten ergeben, als hydratische Verbindungen nachzuweisen,

[1]) Vgl. oben 59, Anmerk. 1.

[2]) Vgl. oben 27, ferner besonders 37.

[3]) Vgl. oben 24 u. f.

[4]) Wobei dahingestellt bleibe, ob es sich dabei vorwiegend um wenig stabile chemische Bindungen, um eigentliche Oberflächen-Adsorption, um feste Lösung, oder alle drei Fälle handelt.

[5]) R. Gans, Jahrbuch k. preuß. Geol. Landesanstalt für 1906, **27**, 63, bes. 74 (Berlin 1909). Ferner ebenda für 1902, **26**, 1 (1905). Auch in einer neuen Abhandlung in den Internat. Mittlg. Bodenk., **3**, 529 (1913), bringt Gans für seine Ansichten keine neuen experimentellen Untersuchungen, wenn man von Analysenwerten über salzsäurelöslichen Kalk und Tonerde in einer Reihe von Böden absieht. A. A. J. v. 'Sigmond kann sich seinen Ausführungen auch nicht anschließen, vgl. Intern. Mittlg. Bodenk. **5**, 223 (1915).

[6]) G. Tschermak, Sitzungsber. Wien. Akad. **112**, I, 355 (1903); **114**, I, 455 (1905); **115**, I, 217 (1906); **121**, IIb, 1087 (1912); Zeitschr. phys. Chem. **53**, 349 (1905); Neues Zentralbl. Mineralogie (1908) 225.

und ihre Adsorptionsnatur zu bestreiten, haben doch noch nicht zu zweifellosen Ergebnissen geführt.[1])

Schon die Wassermenge, welche Gele von Kolloiden, wie sie im Boden vorkommen, aufzunehmen bzw. festzuhalten vermögen, wechselt nach der Vorgeschichte und den äußeren Bedingungen.[2]) J. M. van Bemmelen, der hier zuerst nähere Kenntnis gebracht hat,[3]) sagt dann über die Adsorption durch Gele des Ackerbodens: „Sie binden, wenn sie sich aus einer Lösung abgeschieden haben, gewisse Mengen von anderen Stoffen, welche sich mit in der Lösung befanden,[4]) und ziehen ebenso einen Teil davon an sich, wenn sie rein abgeschieden sind und nachher mit einer Lösung von anderen Stoffen geschüttelt werden. Man könnte diese Bindung als außerhalb des Gebietes der Chemie gehörig betrachten und den Erscheinungen der Adhäsion zuzählen, wenn nicht: 1. solche Verbindungen stattfinden zwischen Substanzen, die sich auch zu normalen chemischen Verbindungen vereinigen können, z. B. Kieselsäure und Kali; 2. chemische Substitutionen dabei auftreten. Außerdem spielen diese Bindungen bei den Adsorptionserscheinungen der Ackererde eine Hauptrolle..." „Die Bindung ist verhältnismäßig schwach, jedoch stark genug, um erst durch oft erneuertes Wasser (bei der Dialyse) oder durch langes Ausspülen die gebundenen Substanzen aus dem Gel entfernen zu können..." „Wenn das trockene Gel mit einer Lösung von Säuren, Basen, Salzen usw. behandelt wird, kommt diese stärkere Anziehung am deutlichsten zum Vorschein. Auch andere Flüssigkeiten und Gase können durch das lufttrockene Gel in unbestimmten Verhältnissen aufgenommen werden."[5])

Vom Gel der Kieselsäure wies J. M. van Bemmelen dann z. B. nach,[6]) daß von ihm auf solche Weise sowohl freies Kaliumhydroxyd, Natriumhydroxyd, Kalziumhydroxyd usw. gebunden, wie auch diese Basen aus ihren hydrolytisch gespaltenen Salzen mit schwachen Säuren aufgenommen werden. Ähnliche Verbindungen nimmt J. M. van Bemmelen auch für die gelatinösen Verbindungen von Kieselsäure mit anderen Kolloiden, z. B. mit Tonerde, an.[7]) Er konnte auch feststellen, daß

---

[1]) M. Theile, Inauguraldissertation (Leipzig 1913) 37/39.

[2]) J. M. van Bemmelen, Landw. Versuchsstat. **35**, 83 (1888).

[3]) Ebenda 84 u. 85.

[4]) Vgl. für koll. Aluminiumhydroxyd W. Crum, Ann. Chem. u. Pharmazie, n. R., **13**, 169 (1854).

[5]) P. Groth, Tabell. Übers. d. Mineralien (1889) 102, vertrat dann bald ähnliche Anschauungen.

[6]) J. M. van Bemmelen, a. a. O. 89.

[7]) ders. a. a. O. 90.

andere Kolloide vielfach noch stärker adsorbierten,[1]) als Kieselsäurekolloid. Sobald aber die Gele sich in wohlumschriebene, chemische Hydrate umsetzten, verloren sie das Vermögen, derartige Verbindungen zu bilden.[2])

Weiter heißt es am genannten Ort, daß die kolloiden Silikate des Bodens Komplexe verschiedener kolloiden Verbindungen von Tonerde und Eisenoxyd mit Kieselsäure darstellen können — Sh. Kasai stellte solche auch künstlich aus Kieselsäure- und Tonerdekolloid her,[3]) — welche alkalische und erdalkalische Basen adsorbiert halten.[4]) Ebenso bilden die Humussubstanzen nach J. M. van Bemmelen Adsorptionsverbindungen mit Säuren und Salzen, am leichtesten jedoch mit Basen.[5]) — Daß es sich hierbei aber zu ganz wesentlichem Teil um wirkliche, Salze bildende Säuren handelt, steht jetzt wohl ziemlich sicher fest.[6]) Und auch sonst wird, wie schon vorher erwähnt wurde und noch später zu behandeln ist, bei der Adsorption häufig chemische Bindung eine beträchtliche Rolle spielen. — Auch verschiedene schwer lösliche Basen, wie CaO, MgO, FeO, Fe_2O_3, können mit Humussubstanz lösliche Komplexe bilden. So kann das braune Moorwasser in der Natur Eisen gelöst enthalten, wie auch salzsaurer Auszug eines tonigen Moorbodens, von überschüssiger Salzsäure befreit, mit Ammoniak keinen Niederschlag gibt;[7]) alles Eisenoxyd und die Tonerde wird durch die große Menge von Humussubstanzen und das Ammoniak in Lösung gehalten.[8]) Wir sehen hier deutlich die Humussubstanz eine Schutzwirkung ausüben.[9]) Unter anderen Umständen, wenn eine solche nicht eintreten kann, bilden sich ausgeflockte Komplexe — wahrscheinlich zu erheblichem Teil auch Salze — aus gelöster Humussubstanz und Hydraten und Salzen der alkalischen Erden, wie aus Schwermetallsalzen, z. B. von Kupfer, Blei, Quecksilber, Eisen, Zinn, Silber. Auch diese Verbindungen sind mehr oder weniger kolloider Natur und von wechselnder Zusammensetzung.[10]) Die Humussubstanz in wäßriger Lösung fällt bereits durch kleine Mengen der obengenannten Salze aus und vermag dabei

[1]) J. M. van Bemmelen, a. a. O. 92.
[2]) ders. a. a. O. 96—97.
[3]) Sh. Kasai, Inauguraldissertation (München 1896) 14.
[4]) J. M. van Bemmelen, a. a. O. 116.
[5]) ders. a. a. O. 122.
[6]) Vgl. oben 52, Anm. 5.
[7]) Solche Vorkommnisse können bei Bodenuntersuchungen recht störend sein.
[8]) J. M. van Bemmelen, a. a. O. 113/14.
[9]) Vgl. auch 28 u. f. dieses Buches.
[10]) J. M. van Bemmelen, a. a. O. 122. P. Ehrenberg und F. Bahr, Journ. Landw. **61**, 472 (1913).

eine gewisse Menge davon durch Adsorption zu binden. Selbst Tonerde[1]) im Kolloidzustande vermag als entgegengesetzt geladenes Kolloid Humussubstanz aus ihrer wäßrigen Lösung zu fällen.

Wegen ihrer so außerordentlich wechselnden Zusammensetzung, deren Grundlagen leider noch nicht genügend geklärt sein dürften, ist über die kolloiden Silikate, Humate, Eisen- und Tonerdeverbindungen des Bodens nicht viel mitzuteilen.[2]) Es wird aber ihre Bedeutung, die so leicht kaum überschätzt werden kann, später noch gelegentlich zu würdigen sein, wie auch die alsbald folgenden Abschnitte zum Teil hierzu noch Gelegenheit bieten werden.

Die Aufschwemmungen bildenden Sande.

War bereits über die kolloiden Silikate und sonstigen Adsorptionsverbindungen des Bodens nicht allzuviel an der Hand grundlegender Untersuchungen mitzuteilen, so gilt dies leider auch zum Teil für die kolloidartige Erscheinungen aufweisenden feinen und feinsten Sande.[3])

Was zunächst die Größe bzw. den Durchmesser anbelangt, unter dem die Sande[4]) in Wasser aufgeschwemmt den Gesetzen der Kolloide zu folgen beginnen, so liegen dafür verschiedene, freilich nicht besonders genau übereinstimmende Messungen vor. Dies kann nicht überraschen, zumal ja mancherlei für die leichtere oder schwierigere Verteilung und Aufschlämmung von Sanden oder anderen festen Teilchen in Wasser maßgebende Umstände erst seit kurzem erkannt worden sind, so die gegebenenfalls durch Elektrolytzusätze erfolgende elektrische Aufladung, spezifisches Gewicht, Löslichkeit u. dgl. E. W. Hilgard stellte fest, daß bei Quarzpulver die Flockung so ziemlich aufhört, wenn der Korndurchmesser etwa

[1]) J. M. van Bemmelen, a. a. O. 123.

[2]) Vgl. dazu auch P. Ehrenberg und F. Bahr, Journ. Landw. **61**, 467 (1913).

[3]) Nur um ein Beispiel zu geben, zu welch verschiedenen Ansichten innerhalb der Kreise land- und forstwirtschaftlicher Forscher die eigenartigen Erscheinungen der Aufschwemmungen noch in neuerer Zeit Anlaß gaben, sei auf A. Baumann, Naturwiss. Zeitschr. Forst- u. Landw. **1**, 457 (1892), und W. Bagger, Inauguraldissertation (Königsberg 1902) 29, hingewiesen.

[4]) Unter ihnen sind allgemein die kleinen Mineralteilchen des Erdbodens, nicht etwa nur die Quarzteilchen, verstanden. Wahrscheinlich dürfte unter den sehr feinen Sanden, wie sie auch ein Bestandteil der tonigen Bodenarten sind, unter anderem der Kaliglimmer eine Rolle spielen. Vgl. A. Atterberg, Compt. rend. I. Conf. Int. Agrogéol. (Ofen-Pest 1909) 294; C. Benedicks bzw. D. J. Hissink, Van Bemmelen-Gedenkboek (1909) 64; Th. Schlösing d. Ä. bzw. P. Ehrenberg, Zeitschr. angew. Chem. **24**, 1957 (1911); K. A. Vesterberg, Internat. Mittlg. Bodenk. **5**, 38 (1915).

0,2 mm übersteigt.[1]) A. Atterberg fand, daß Sand von 0,05—0,02 mm Durchmesser eine gewisse Fähigkeit sich zusammenzuballen besitzt, Spuren davon wies auch schon solcher von 0,1—0,05 mm auf.[2]) Stärker wird der Sand von 0,02—0,01 mm Durchmesser zusammengeballt. Als äußeres Kennzeichen für diese Größe gilt, daß sie dem unbewaffneten Auge nicht mehr unterscheidbar ist.[3])

Daß endlich eine Krümelbildung — diese steht, wie wir später sehen werden, mit der Flockung in nahem Zusammenhange — von recht maßgeblichem Einfluß auf das Pflanzenwachstum schon bei sog. Hohenbockaer Glassand eintritt, erwähnt noch vor ähnlichen Angaben A. Atterbergs[4]) schon H. Hellriegel.[5]) Der Sand hat nach meiner Feststellung einen Durchmesser von etwa 0,25 mm und zeigt in Aufschwemmung jedenfalls Spuren einer Beeinflussung durch Elektrolyten. Hiermit steht übrigens auch eine Angabe A. Atterbergs in Übereinstimmung, nach der „feinerer Grand", der einem Einteilungsversuch dieses Autors entsprechend[6]) zu 0,05—0,1 mm Durchmesser angenommen werden müßte, durch Kalkzusatz schnell koaguliert wurde und sich als fester, aber doch voluminöser Bodensatz absetzte.[7]) Liegt auch manch Unterschied vor, so würde doch die Ausflockungsfähigkeit sich noch bei recht großen Durchmessern des Sandes zeigen. Ist demnach eine einheitlich gültige, feste Grenze für die Raumgrößen der hier besprochenen Sande wohl nicht zu geben, so unterliegt es doch keinem Zweifel, daß mit sinkendem Durchmesser die Fähigkeit, Aufschwemmungen von einiger Dauer und den für Kolloide kennzeichnenden Erscheinungen zu bilden, immer deutlicher wird. Was die Beschaffenheit der Sande selbst anbelangt, so wird sie nicht gleichgültig sein, doch entsprechend den vorkommenden geringen Unterschieden an spezifischem Gewicht, Löslichkeit[8]) u. dgl. zumeist keine große Bedeutung besitzen.

[1]) E. W. Hilgard, Forsch. Geb. Agrikulturphysik **2**, 443 (1879). Vgl. weiter U. S. Depart. Agric. Div. Soils **5**, 8 (1896).

[2]) A. Atterberg, Landw. Versuchsstat. **69**, 131 (1908).

[3]) derselbe, Chem.-Ztg. **29**, (Sonderdruck) 4 (1905).

[4]) derselbe, Kongl. Landtbruks-Akademiens Handlingar och Tidskrift (Stockholm 1903) 185; referiert in Zentralbl. Agrikulturchem. **33**, 289 (1904).

[5]) H. Hellriegel und Mitarbeiter, Arb. Deutsch. Landw. Gesellsch. **34**, 12 (Berlin 1898).

[6]) A. Atterberg, Chem.-Ztg. a. a. O. 7 gibt zwar für „Grand" 0,6 mm Durchmesser an. Vgl. aber folgende Anmerkung.

[7]) derselbe. Kongl. Landtbruks-Akademiens Handlingar Tidskrift (1903) 185, nach Referat Zentralbl. Agrikulturchem. **33**, 289 (1904).

[8]) Kalksand ist allerdings ebenso wie Gipssand verhältnismäßig ziemlich stark löslich, was auf seine Fähigkeit, Aufschwemmungen zu bilden, einwirkt.

Allenfalls kann die Form eine gewisse Beachtung beanspruchen.[1]) Denn je weiter sie sich von der Kugelform entfernt, um so erheblicher wird sie einen Sondereinfluß ausüben können. So ermittelte A. Mitscherlich,[2]) daß für ein Körnchen von tertiärem Quarzsand und Seesand[3]) die Größe der Oberfläche war bei Annahme von

Kugelform . . .	0,001464 qcm	bzw.	0,002296 qcm
Würfelform . .	0,001817 „	„	0,003168 „

Für je 1 g dieser Sande bedingt dies eine Gesamtoberfläche bei Annahme von

Kugelform . . .	94,31 qcm	bzw.	71,52 qcm
Würfelform . .	130,12 „		98,70 „

Wie oben dargelegt, nimmt aber mit steigender Oberflächenausdehnung die Wirkung aller den Oberflächen besonders eigenen Kräfte stark zu und damit in mancher Hinsicht die Annäherung an den Kolloidzustand.

Zu erwähnen ist hier auch das je nach dem Material der Sande, ihrer Größe und anderen Umständen wechselnde Zusammenhaften zwischen Wasser und festen Teilchen. Es kann insofern von Wirkung sein, als es, stark auftretend, dazu Veranlassung gibt, daß bei irgendwelchen Bewegungen der Teilchen erhebliche Mengen von Wasser mitgeführt werden, die den Teilchen durch Adhäsion anhaften.[4]) So werden diese sich langsamer bewegen und auch langsamer sinken, kurz, in ihren Aufschwemmungseigenschaften gestärkt werden, während umgekehrt bei schwacher Adhäsion des Wassers an den Sanden Aufschwemmungen verminderter Haltbarkeit sich ergeben dürften.

Dabei kann aber auch die Beschaffenheit des Aufschwemmungsmittels an sich eine Rolle spielen. Z. B. wies ich bereits früher[5]) auf die mit sinkender Temperatur steigende innere Reibung oder Zähigkeit des Wassers hin. Th. Scheerer, der zuerst u. a. die Verhältnisse beim Absetzen feinen Quarzpulvers und anderer feiner Gesteinsbestandteile[6]) untersuchte, prüfte z. B. die Wirkung der Erhöhung des spezifischen Gewichts des Wassers durch Salze auf das Absetzen.[7]) So ist hier noch mancherlei näher zu untersuchen und auf seine Bedeutung zu erforschen.

---

[1]) A. Mitscherlich, Bodenkunde (Berlin 1905) 42.

[2]) derselbe, a. a. O. 72.

[3]) Die Seesandkörner waren also etwas größer, und besonders schwerer.

[4]) Vgl. hierüber Wo. Ostwald, Grundriß d. Kolloidchemie, 1. Aufl. (Dresden 1909) 443.

[5]) P. Ehrenberg, Mitteil. landw. Inst. Univ. Breslau **4**, 464 (1908).

[6]) Sog. Pochtrüben von Erzaufbereitungsanlagen.

[7]) Th. Scheerer, Ann. d. Phys. Chem. (3) **22**, 426 (1851).

Stets wird aber vor allem anderen spezifisches Gewicht[1]) und Größe der Sandkörnchen das Maßgebende sein, daneben aber etwaige Abgabe von fällenden oder verteilenden Ionen, wie $Ca^{\cdot\cdot}$ bzw. OH'.

Weiter wird auch für Aufschwemmungen wie in umfassenderem Maße für eigentliche Kolloide die Konzentration eine Rolle für die größere oder geringere Schnelligkeit des Ausfallens spielen. Einmal sind bei stärkerer Konzentration die Teilchen einander näher, werden sich also leichter zusammenballen und so ausfallen,[2]) dann aber bedingt die bei stärkerer Konzentration größere Gesamtoberfläche der Teilchen erhöhte Löslichkeit und vermehrte Adsorption von Verunreinigungen usw., Umstände, die sich gleichfalls fällend betätigen dürften.[3])

Das Maßgebliche für das Ausfallen aufgeschwemmter feiner Sande war spezifisches Gewicht und Größe, mit anderen Worten, wesentlich die Schwerkraftswirkung. Bei Teilchen unter 60 $\mu\mu$ oder 60 Milliontel Millimeter,[4]) häufig aber schon bei viel größeren, verschwindet ihr Einfluß gegenüber dem elektrischer Ladung und anderer Energiearten. Hier würde also das Gebiet der Aufschwemmungen aufhören, das der Kolloide beginnen. Für die augenblicklich in Frage kommenden Aufschwemmungen feinster Sande handelt es sich zumeist, damit sie durch ihre besonderen Eigenschaften für uns Bedeutung gewinnen können, nun aber gar nicht um ein dauerndes Aufgeschwemmtbleiben, sondern nur um Erhaltung des schwebenden Zustandes der Teilchen für mäßige Zeiträume. Eine hierzu genügende Verlangsamung des Einflusses der Schwerkraft ist aber natürlich bereits bei viel größeren Teilchen möglich.

Daß bei genügender Feinheit der Teilchen Aufschwemmungen Filter[5]) zu passieren vermögen, ist bekannt[6]) und z. B. von W. Ebell[7]) wie L. Bock[8]) für Ultramarin, von C. Kühn für Berlinerblau,[9]) mitge-

---

[1]) Bei dem schweren Gold genügt schon ein Teilchendurchmesser von 75 Milliontel Millimeter, um ein Absetzen hervorzurufen. R. Zsigmondy, Erkenntnis d. Kolloide (Jena 1905) 104.

[2]) C. Barus, Koll.-Zeitschr. **9**, 14 (1911). J. P. van Zyl, Inauguraldissertation (Göttingen 1916) 57/58.

[3]) Hierher gehört auch zum Teil die noch unten näher zu besprechende Fällung von Aufschwemmungen durch feine, feste Teilchen. Wo. Ostwald, Koll.-Zeitschr. **1**, 340 (1907).

[4]) R. Zsigmondy, Erkenntnis d. Kolloide (Jena 1905) 17.

[5]) Deren Porengröße natürlich sehr maßgebend ist.

[6]) Art. Müller, Allg. Chem. Kolloide (Leipzig 1907) 58.

[7]) W. Ebell, Ber. Deutsch. chem. Ges. **16**, 2429 (1883).

[8]) L. Bock, Koll. Zeitschr. **19**, 12 (1916).

[9]) C. Kühn, Zeitschr. angew. Chem. **28**, I, 126 (1915). 1 g enthielt 2000 . 10^9 (zweitausend Milliarden) Teilchen.

teilt worden. Auch die verhältnismäßig groben Zerteilungen, die sich beim Auswaschen von Sulfiden bilden, gehen durch das Filter.[1]) Für außerordentlich feine Sand- bzw. Mineralteilchen liegt solch Verhalten bei Abwesenheit zusammenballender Wirkungen ebenfalls im Bereiche der Möglichkeit, wie Angaben von Fr. Schulze,[2]) Th. Scheerer,[3]) J. Thoulet,[4]) W. Michaelis[5]) und H. Mehring[6]) beweisen. Solange die Teilchen gröber sind, also etwa 1—10 μ Durchmesser haben, erscheinen die von ihnen erfüllten Flüssigkeiten ungleichartig, vorausgesetzt, daß nicht die Teilchen einen der Flüssigkeit zu ähnlichen Brechungsexponenten besitzen[7]) und daher schlecht zu sehen sind. Bei dieser Größe werden sie auch durch Papierfilter noch leicht zurückgehalten. Immerhin beginnt auch bereits in dieser Größenordnung das Auftreten einer eigenartigen, in höherem Maße für Kolloide typischen Erscheinung, der sog. Brownschen Molekularbewegung. Schon F. Schulze wies auf die Beziehungen zwischen ihr und der Erscheinung lange dauernden Aufgeschwemmtbleibens feiner Pulver hin.[8]) A. Atterberg setzt ihr lebhaftes Beginnen wenigstens für Sand auf einen Durchmesser von weniger als 2 μ fest, die gleiche Grenze gibt W. R. Williams[9]) an. Körnchen über 3 μ bewegen sich nicht mehr,[10]) oder wenigstens nur noch schwach.[11]) Wenn nun S. Exner[12]) für Gummigutttröpfchen noch bei 3 μ gerade eben Bewegung sah, bei 4 μ nicht mehr, so dürfte dies in Anbetracht der verschiedenen spezifischen Gewichte usw. nur als Bestätigung der A. Atterbergschen Beobachtungen angesehen werden können. Theoretisch muß sogar — nach der Formel von A. Einstein[13]) — eine Kugel von 1 mm Durchmesser in Wasser von 20° durch ihre Brownsche Molekularbewegung sich noch in der Minute um 1 μ ver-

[1]) R. Zsigmondy, Erkenntnis d. Kolloide (Jena 1905) 19.

[2]) Fr. Schulze, Jahrb. Akad. Eldena, 1, 258 (1848), stellt fest, daß salzfreier Ton die Filterporen verstopft oder durchs Filter hindurchgeht.

[3]) Th. Scheerer, Ann. d. Phys. u. Chem., III. Reihe, 22, 422 (1851).

[4]) J. Thoulet, Ann. d. Mines [8] 19, 35 (1891).

[5]) W. Michaelis, Chem.-Ztg. 19, 1422, 2002, 2296 (1895).

[6]) H. Mehring, Naturwiss. Zeitschr. Land- u. Forstwirtsch. 2, 434 (1904); auch andere diesbezügliche Beobachtungen ließen sich finden.

[7]) R. Zsigmondy, a. a. O. 18.

[8]) F. Schulze, Ann. Phys. u. Chem., (5), 9, 368 (1866).

[9]) W. R. Williams, Forschung. Geb. Agrikulturphys. 18, 253 (1895).

[10]) A. Atterberg, Chem.-Ztg. 29, 195 (1905).

[11]) derselbe, Landw. Versuchsstat. 79, 135 (1908).

[12]) S. Exner, Ber. Wiener Akad. d. Wiss. 56, II, 116 (1867).

[13]) A. Einstein, Annal. d. Phys. [4] 17, 549 (1905); 19, 371 (1906).

schieben,[1]) was natürlich für unser Auge nicht zu beobachten ist. Während im allgemeinen die Brownsche Bewegung sich nur gut bei starken Vergrößerungen beobachten läßt, gelingt es auch durch besondere Handgriffe, sie dem bloßen Auge sichtbar zu machen.[2])

Diese Brownsche Bewegung, die sich unter dem Mikroskop als lebhaftes Hin- und Herschwingen der Teilchen zeigt, ist, wie hier des näheren freilich nicht ausgeführt werden kann, eine Eigentümlichkeit des flüssigen Zustandes, durch den Stoß der Flüssigkeitsmoleküle bedingt,[3]) und um so stärker, je kleiner die in der Flüssigkeit schwebenden Teilchen sind.[4]) Sehr hübsch sagt J. Perrin, „daß die Teilchen mit ihrer Brownschen Bewegung einen inneren Bewegungszustand der Flüssigkeit verraten, und dies um so ausgesprochener, je kleiner sie sind, gleich wie ein Korkstöpsel besser den Bewegungen der Meereswellen folgt als ein großer Stock."[5])

Mit der Brownschen Bewegung in nahem Zusammenhange steht die Erscheinung der Diffusion, nach der sich in einer Flüssigkeit gelöste Stoffe im Lösungsmittel, — ebenso übrigens ja auch Gase, — zu verbreiten streben. Sie ist bekanntlich die Ursache dafür, daß die Zusammensetzung der atmosphärischen Luft, eben der Diffusion der Gase wegen, allerorts nahezu übereinstimmend ist, soweit die niederen Luftschichten in Frage kommen. Die hier betrachteten feinsten Sande freilich werden noch fast stets zu grob sein, um eine irgendwie merkliche Diffusion erkennen zu lassen. Bei Tontrübungen beginnt sie aber schon etwas.[6]) Auch Förderung der Diffusion durch diffundierende Kristalloide, wie ähnliches für manche Aufschwemmungen beobachtet ist,[7]) wird wohl noch kaum in Betracht kommen können. Wir werden aber dieser Erscheinung im nächsten Abschnitt wieder begegnen.

Eine ausgefallene Aufschwemmung lagert sich, der Schwerkraft folgend, an der tiefsten von ihr erreichbaren Stelle ab; R. Zsigmondy sagt

---

[1]) J. Perrin, Kolloidchem. Beihefte **1**, 280 (1909/10).

[2]) Vgl. H. Molisch, Koll.-Zeitschr. **2**, Ergänzungsheft 1, IX (1907). Außerdem J. Perrin, Kolloidchem. Beihefte **1**, 240, 248, 283 (1909/10).

[3]) Die Brownsche Bewegung kommt außer in Flüssigkeiten auch in Gasen vor. Vgl. z. B. H. Fletcher, Physic. Review [2] **4**, 440 (1914); D. Konstantinowsky, Wien. Anz. **18**, 378 (1914).

[4]) Für Sande festgestellt von A. Atterberg, a. a. O. Von großer Bedeutung ist aber auch die Temperatur.

[5]) J. Perrin, Kolloidchem. Beihefte **1**, 225 (1909/10). Hier auch Literatur.

[6]) S. Exner, a. a. O.

[7]) H. Freundlich, Kapillarchemie (Leipzig 1909) 333.

von ihr: „Mit einem geringen Aufwande von mechanischer Energie vermag man feine Pulver eines praktisch unlöslichen Körpers aufzuschlämmen. Das abgesetzte Pulver kann wieder aufgeschlämmt und abermals sedimentiert werden . . .“[1])

Für die feinsten und feineren Sande gilt dies nun eigentlich nicht ohne weiteres, darauf machte bereits F. Schulze aufmerksam, als er hervorhob, daß aus reinem Wasser abgesetzte Bodensätze sich viel schwerer aufrühren ließen als durch irgendein Fällungsmittel beschleunigt erzeugte.[2])

W. Ebell[3]) teilte weiter mit, daß aus „gut“ schlämmenden Ultramarinaufschwemmungen die gröberen Teile sich in Form fester, teilweise nur mit Meißeln auszustoßender Absätze niederschlämmen. Dabei handelt es sich an diesem Ort, wie ausdrücklich erwähnt sei, um die gröberen der allerdings allgemein recht feinen Ultramarinteilchen. Und „gut“ schlämmende Lösungen sind solche, in denen nicht durch Salzgehalt des Wassers u. dgl. ein plötzliches Zusammenballen und Ausfallen des Ultramarins bedingt wird. Ähnliche Erscheinungen sind nun bei feinsten Sanden beobachtet worden und dürften überhaupt für die hier vorliegenden Zwecke Beachtung verdienen. Zwei ganz gleich geartete, aber meines Wissens ohne gegenseitige Kenntnis der Beobachtungen unternommene Versuche liegen hierzu vor: F. Schulze[4]) arbeitete mit Braunkohlensand sowie mit Quarzpulver und erhielt dabei unter einer großen Reihe von Einzelversuchen die folgenden Ergebnisse:

Flüssigkeit	Zusatz	Sedimentierzeit Stunden	Sedimentvolum in ccm nach		Zum Aufrühren mußte umgeschüttelt werden
			ruhigem Stehen	Zusammenrütteln	
dest. Wass.	—	24	10,6	9,9	70 mal
1000 „ „	1 $Ca(OH)_2$	24	14,5	13,0	1—2 „
64000 „ „	1 „	24	10,6	10,0	36 „
500 „ „	1 $CaSO_4$	24	11,6	—	13 „
20000 „ „	1 „	24	11,1	—	34 „
20 „ „	1 Gummi[5])	24	10,4	—	90 „
100 „ „	1 „	24	10,3	—	89 „

[1]) R. Zsigmondy, Erkenntnis d. Kolloide (Jena 1905) 12.
[2]) F. Schulze, Ann. Phys. u. Chem., V. Reihe, **9**, 370 (1866).
[3]) W. Ebell, Ber. Deutsch. chem. Ges. **16**, 2429 (1883).
[4]) F. Schulze, Ann. Phys. u. Chem., V. Reihe, **9**, 375 (1866).
[5]) Über die Besonderheiten, welche hier der Gummi bietet, wäre noch mehr zu sprechen. Es handelt sich wohl kaum um eine eigentliche Schutzwirkung.

A. Atterberg[1]) schüttelte je 10 g Sand von 0,005—0,002 mm Durchmesser in genau gleich kalibrierten Glasröhren mit Wasser auf und erhielt dabei folgende Volumen des Bodensatzes:

	Nach 16 Stunden	Nach 30 Tagen
	ccm	ccm
in destilliertem Wasser	6,5	6,5
in gesättigter Gipslösung	10,2	10,0
in halbgesättigtem Kalkwasser	17,0	16,7

Wir sehen hier ein sehr geringes Volum in destilliertem Wasser und vergleichen dazu noch die Angabe des Forschers: „Alle Absätze waren anfangs flüssig,[2]) nur der in destilliertem Wasser gebildete war fest und schwierig durch Schütteln wieder in Wasser zu verteilen", und „aus reinem und aus schwach alkalischem Wasser setzen sich die feinen Sande in dichtem, festem Zustande ab".[3]) Der Vorgang ist hierbei einfach der, daß eine Kolloidwirkung, wenn auch schwächster Art, mit der Schwerkraft zusammen die Lagerung beeinflußt. Wir wissen aus früheren Überlegungen, daß reines Wasser und noch mehr eine sehr schwache Alkalilösung verteilend, solbildend auf negativ geladenes Kolloid wirkt, was gleichfalls bei einer gröberen Aufschwemmung der Fall sein muß, wenn auch in entsprechend vermindertem Maße. Durch den Fall im reinen Wasser, noch mehr durch etwaigen Alkaligehalt[4]) desselben, erhalten die Sandteilchen schwach negativ elektrische Ladungen.[5]) Sie werden sich also, der gleichartigen Ladung entsprechend, gegenseitig abstoßen und die denkbar geringste Neigung zeigen, durch Aneinanderhaften größere

[1]) A. Atterberg, Landw. Versuchsstat. **69**, 133, 134 (1908).

[2]) Es kamen noch Versuche mit 1 %-Kochsalz- und Salzsäurelösung in Frage; a. a. O. 133.

[3]) A. Atterberg, a. a. O. 134.

[4]) J. Perrin, Compt. rend. **136**, 1441 (1903). — Da bei den oben angeführten Untersuchungen A. Atterbergs nur ziemlich hohe Konzentrationen angewandt wurden, so ist eine verteilende Wirkung geringer basischer Zusätze leider nicht beobachtet worden; wenigstens findet sich auch in einer anderen Arbeit des gleichen Verfassers, soweit sie mir zugänglich ist, keine genaue Angabe über Wirkungen schwach alkalischer Lösungen. Andernfalls wäre wahrscheinlich hierbei eine eher noch stärkere Aneinanderlagerung und noch größere Schwierigkeit beim Wiederaufschlämmen, als bei reinem Wasser, zu beobachten gewesen. In den Mengen von ½—1 % war bei Soda und Kalilauge immerhin nur eine, der Lagerung aus destilliertem Wasser ziemlich ähnliche Schichtung der Sandteilchen aufeinander zu verzeichnen.

[5]) Vgl. z. B. Art. Müller, Allgem. Chem. d. Kolloide (Leipzig 1907) 36.

Gruppen zu bilden. So senken sie sich, der Schwerkraft gehorchend, zu Boden; langsamer als es sonst geschehen würde, da die Ladung ein Gegengewicht gegen die vereinigende Wirkung der die Teilchen zusammenzwingenden und so ihr Ausfallen beschleunigenden Kräfte bilden muß. Auch in tieferen Schichten der Aufschwemmung, wo die Teilchen des Sandes sich bereits im Laufe des Herabsinkens sehr nähern, werden sie in diesem Fall nicht aneinander haften bleiben, um so Haufwerke zu bilden, sondern eins gleitet vermöge der abstoßenden Wirkung der Ladung am anderen vorbei, bis festes Aufliegen der Schwerkraftwirkung eine Grenze setzt. Lockeres Aufeinanderliegen ist wesentlich erschwert. Solange die Sandkörnchen noch neben- und zwischeneinander sich bewegen können, unterliegen sie, da ein Festhängenbleiben aneinander durch die gleichartige Ladung verhindert wird, dem Zuge der Erdanziehung und schachteln sich daher so fest und eng wie nur möglich zusammen, jedes einzeln für sich der tiefsten, ihm erreichbaren Stelle zustrebend. Dabei finden wohl infolge kleiner Erschütterungen noch nach einiger Zeit, wie ja auch oben zu ersehen, unbedeutende Verminderungen des von dem abgesetzten Sande eingenommenen Raumes statt.

Allerdings kommt beim Absetzen von Sand, abgesehen von anderen Umständen, von denen teils bereits gesprochen ist, teils noch zu reden sein wird, nach W. Spring besonders auch noch der Gasgehalt der Flüssigkeit in Betracht.

Einbringen von Sand zerstört den Zustand der Übersättigung und selbst der Sättigung einer Gaslösung in Wasser. Der Sand adsorbiert in solcher Menge Gas um seine Körnchen und entzieht es so der Flüssigkeit, daß die sich um die Sandteilchen bildende Gashülle das Absetzen erheblich verzögert, natürlich um so mehr, je feiner der Sand ist. Da diese Umhüllung sich allerdings in einem instabilen Gleichgewicht befindet, so verschwindet sie schließlich, und das Absetzen kommt zum Ziel.[1])

Nun wird das in der Natur vorkommende Wasser, in dem Sand aufgeschwemmt ist bzw. sich absetzt, sehr häufig durch Gase gesättigt sein; die hier gezeichnete Hemmung der Ablagerung von Sand kann demnach eine gar nicht seltene sein, ganz besonders, wenn man die zwar nur im kleinen, aber an sehr viel Stellen vor sich gehenden Erscheinungen im Ackerboden berücksichtigt.[2]) Später folgt hierüber Eingehendes, wie überhaupt bezüglich des soeben besprochenen Sichabsetzens und der Zusammenlagerung der Sandkörner dabei.

---

[1]) W. Spring, Procès-verbaux Société Belge Géologie, Brüssel, **17**, 72 (1903).

[2]) Auf ähnliche Erscheinungen wurde schon näher hingewiesen bei P. Ehrenberg, Mitteil. landw. Inst. Univ. Breslau **4**, 464—465 (1908).

Für die elektrischen Wirkungen in solchen Fällen ist zu beachten, daß Quarz und Feldspat [1]) und damit wohl auch die übrigen Bestandteile der feinen Sande durch den elektrischen Strom zur Anode geführt werden, sich also als negativ geladen erweisen. Dies ist besonders durch G. Quinke ermittelt worden. [2])

Dieser Ladung und den damit zusammenhängenden Erscheinungen [3]) entspricht die Wirkung von Elektrolyten auf die Aufschwemmungen, wie bei der Zusammenlagerung der Absätze, so auch schon bei der Klärung. Die genaueren Angaben für dieses Gebiet stammen, wie erwähnt, von Th. Scheerer. [4]) Ihnen sind weitere gefolgt. A. Atterberg fand [5]) schwach beginnende, schnellere Klärung durch Kalkwasser bereits bei 0,1—0,05 Millimeter starkem Sande, deutlichere Wirkung von Kochsalz und Salzsäure dagegen erst bei einer Größe von 0,02 mm und weniger; E. W. Hilgard bei 0,2 mm Korndurchmesser und gleicher Größe aller Teilchen, da sonst auch größere Teilchen mit in die Flockung hineingezogen wurden. [6]) Die Aufschwemmungen selbst ziemlich grober Sande verhalten sich von Kolloiden demnach nur dem Grade nach verschieden, wie sogleich noch des näheren zu zeigen ist.

Hier sei zunächst nur noch auf eine Besonderheit bei der Wirkung von Elektrolyten auf feinste Sande hingewiesen, die überhaupt bei Aufschwemmungen eine gewisse Rolle spielt. J. Joly teilte bei Besprechung seiner Versuche über den inneren Mechanismus des Absetzens [7]) mit, daß Salze dreiwertiger Metalle, wie die des Aluminiums, je nach der Konzentration zunächst in sehr geringer Menge feinstes Obsidianpulver bzw. auch Kaolin ausfällten. Bei nur sehr wenig stärkerer Konzentration (0,00004 Grammäquivalente im Liter gegen vorher 0,00001) ließen sie eine Fällung überhaupt nicht eintreten bzw. verzögerten gegen die Fällung in reinem Wasser, um bei weiter steigender Konzentration wieder zu fällen. Als Erklärung nimmt J. Joly elektrische Umladung der Teilchen an, [8]) was gewiß richtig sein kann. Allerdings bringt H. Bechhold, der unabhängig vom vorgenannten Forscher dieselbe Erscheinung bei Mastixtrübungen wahr-

[1]) Versuche über Fällung von Feldspatpulver-Aufschwemmungen bei F. Schulze, Ann. Phys. Chem., (5) **9**, 366 (1866).

[2]) G. Quinke, Ann. d. Phys., (2) **113**, 513 (1861).

[3]) Siehe auch oben 33.

[4]) Th. Scheerer, Ann. Phys. Chem., (3) **22**, 419 (1851).

[5]) A. Atterberg, Landw. Versuchsstat. **69**, z. B. 134 (1908).

[6]) E. W. Hilgard, Forsch. Geb. d. Agrikulturphys. **2**, 443 (1879).

[7]) J. Joly, 8. Congrès Géolog. internat., 1900, **2**, 710 (Paris 1901).

[8]) Ebenda 720.

nahm, als nicht minder einleuchtend den Gedanken einer Schutzwirkung[1]) durch hydrolytisch gebildetes Eisen- oder Aluminiumhydroxydkolloid vor.[2]) Näheres Eingehen auf diese interessanten Fragen[3]) kann deswegen nicht im Bereich unserer Aufgabe liegen, weil Salze dreiwertiger Metalle wohl nur höchst selten in erheblicher Menge im Boden vorkommen werden[4].)

Die Ansicht, daß Aufschwemmungen selbst ziemlich grober Sande sich nur dem Grade nach von Kolloidlösungen unterscheiden, wird nach dem bereits Gesagten bezüglich des Verhaltens der Einzelteilchen bei Ausfällung oder Absetzen nicht mehr so großem Widerspruch begegnen. Indes wird es noch manchem schwer fallen, ein sich grob in zwei Teile scheidendes Gemenge von Sandkörnern und Wasser mit der scheinbar homogenen Lösung eines Kolloids, etwa mit dem aus Hochmooren abfließenden braunen Wasser, als wesensähnlich anzusehen. Und doch ist nur die vermehrte Größe der Teilchen und die damit zusammenhängende Abschwächung, die aber nicht zu völligem Aufhören der Kolloideigenschaften führt, im Auge zu behalten, wenn man der gegebenen Anschauung folgen will. Denn, daß ein Sandwassergemisch unter Umständen als selbständige, dicke Flüssigkeit aufzutreten vermag, lehren vielerlei Erscheinungen in der Natur,[5]) alte Angaben von W. Schumacher[6]) und nicht weiter ausgeführte Hinweise von W Bagger[7]) wie auch die leider bodenkundlich noch weitaus zu wenig bekannten Untersuchungen von W. Spring. Dieser stellte fest, daß sich Sand, mit Wasser vermischt, wie eine besondere Flüssigkeit zu verhalten vermag; es kann sogar dies Sandwassergemenge reines Wasser durchkreuzen, ohne das Wasser, das es um seiner Einzelkörner führt, an dasselbe abzugeben.[8]) Auch insofern vermag ein Sandwassergemisch als selbständige Flüssigkeit aufzutreten, als seine Dichtigkeit eine größere ist, als die reinen Wassers.[9]) Der Unterschied

[1]) Siehe oben 28.

[2]) H. Bechhold, Zeitschr. physik. Chem. **48**, 418 ff. (1904).

[3]) Vgl. sonst dazu B. H. Buxton und O. Teague, Zeitschr. physik. Chem. **57**, 47, 64, 76 (1907). B. Reinitzer, Monatsh. Chemie **3**, 249 (1882). Weitere Besprechung der Literatur bei H. Freundlich, Kapillarchemie (Leipzig 1909) 461 ff.

[4]) P. Ehrenberg, Mitteil. landw. Inst. Univ. Breslau **4**, 480 (1908).

[5]) Der sog. „Schwimmsand", den Baumeister und Bergleute in gleicher Weise fürchten, ist hier zu nennen. Vgl. L. Herwegen, Braunkohle **10**, 273 (1911).

[6]) W. Schumacher, Ackerbau (Wien 1874) 18.

[7]) W. Bagger, Inauguraldissertat. (Königsberg 1902) 75.

[8]) W. Spring, Procès-verbaux Société Belge Géologie, Brüssel, **17**, 72 (1903). Auch A. Atterberg, Landw. Versuchsstat. **69**, 134 (1908) sei verglichen.

[9]) Über die sehr hohe innere Reibung von Gemischen fester Pulver mit wenig

kann schon bei Wasser, in dem Sand aufgeschwemmt ist, bis 10 % betragen.[1]) Es sei darauf hingewiesen, daß auch Beobachtungen in der Natur die große Dichte von wäßrig-fließenden, sehr feinkornhaltigen Sandmassen kennzeichnen. So berichtet E. C. J. Mohr, daß auf Schlammströmen, wie sie in den Tropen aus Vulkanasche und Wasser entstehen, große Felsblöcke schwimmen.[2]) Das gleiche ist für fließende Sandströme im hohen Norden beobachtet worden[3]) und ebenso für Schlammströme in den Alpen.[4]) — Ganz entsprechend haben auch mit feinem Sand und Staub erfüllte Gasmassen eine große Dichte und hohes spezifisches Gewicht. A. Lacroix teilt z. B. vom Ausbruch des Mont Pélée mit,[5]) daß die mit Steinen, Sand und Staub dicht erfüllte Gasmasse der „nué ardente", die so viel Unheil anrichtete, ein bedeutend höheres spezifisches Gewicht besaß, als die umgebende Luft, und daher bachähnlich vom Berg ins Tal stürzte.[6]) — Und wieder ähnliche Verhältnisse gibt uns die von W. C. Kerr dargelegte Erscheinung der gefrorenen Schlammströme, Erdgletscher, wie er sie nennt.[7]) Theoretisch ist die Frage der Dichte von Sand-Wassergemischen — allerdings nur für feinere Aufschwemmungen in viel Wasser, nicht für die hier in Betracht kommenden Verhältnisse eines Sand- bzw. Aschenwasserbreies, — von B. Löffler bearbeitet worden.[8])

Flüssigkeit, also auch von Sandwassergemischen vgl. auch Wo. Ostwald, Grundriß d. Kolloidchemie, 2. Aufl., erste Hälfte (Dresden 1911) 181 u. f. Tonbrei läßt je nach seiner Dichte zugesetzten Sand untersinken, oder trägt ihn schwebend in sich, was durch gesteigerten Wasserzusatz leicht zu verfolgen ist. Vgl. auch F. Senft, Steinschutt u. Erdboden (Berlin 1867) 240/1.

[1]) W. Spring, a. a. O. Siehe auch unten 114/15 u. 206.

[2]) E. C. J. Mohr, Bull. départem. agric. Indes Néerland. Nr. **17**, 3 (1908).

[3]) A. Atterberg, Landw. Versuchsstat. **69**, 134 (1908), Internat. Mittlg. Bodenk. **1**, 20 (1911); K. Stamm, Geolog. Rundsch. **2**, 166 (1911); G. Andersson, Zitat bei K. Sapper, Internat. Mittlg. Bodenk. **4**, 58 (1914).

[4]) H. Girard (Deutschland), Grundlagen d. Bodenkunde (Halle 1868) 256 ff. Niedere Temperatur muß wegen der erheblichen Erhöhung der inneren Reibung des Wassers derartige Vorkommnisse begünstigen. Vgl. Wo. Ostwald, Archiv Physiologie **94**, 261 u. f. (1903). Vgl. auch unten 203, Anm. 2, 206.

[5]) A. Lacroix, La montagne Pélée et ses éruptions, (Paris 1904).

[6]) Nach J. A. Udden, zit. bei K. Stamm, Geolog. Rundsch. **3**, 366 (1912), sind während eines Staubsturmes in einer engl. Kubikmeile 160—126000 t festen Materials (?) suspendiert, so daß durch das so bedingte, höhere spezif. Gewicht der Luftmasse die furchtbare Gewalt der Staubstürme eine besondere Erklärung fände.

[7]) W. C. Kerr, Amer. Journ. Science, **21**, 352 u. f. (1881). Vgl. K. Sapper, a. a. O. 55; E. Ramann, Zeitschr. Deutsch. Geolog. Gesellsch. **67**, 294 (1915).

[8]) B. Löffler, Ann. Phys., (4) **23**, 517 bes. 525 (1907).

Doch längst vorher hat H. Girard[1]) sowie G. Schübler[2]) experimentell diese Eigenschaft der Aufschwemmungen zu behandeln versucht, wie auch E. W. Hilgard, und später C. Luedecke die Erhöhung der Dichte von Erdaufschwemmungen für die Schlämmanalyse als wichtig feststellten und berücksichtigten.[3])

Aus den Erfahrungen mit dem Gießschlicker der keramischen Industrie,[4]) sowie aus Feststellungen neuester Zeit[5]) besitzt man einige Hinweise darauf, daß derartige Aufschwemmungen ein ziemlich hohes spezifisches Gewicht aufweisen. Man könnte hier auch der einen sehr großen Raum einnehmenden Absätze aus wäßrigen Goldkolloidlösungen gedenken.[6])

Die Dichte von Sand-Wassergemischen mag wohl höchstens theoretische Bedeutung für das neue Verfahren der mechanischen Bodenanalyse von S. Odén[7]) besitzen, mehr vielleicht andererseits die Frage der Adsorption von Kolloidton aus Lösungen.[8]) Auch scheint es, als wenn bedeutungsvoller als der Einfluß der Dichte der Flüssigkeit für Odéns Verfahren die Möglichkeit wäre, daß bei höheren Konzentrationen der benutzten Bodentrüben durch eintretende Zusammenballungen die Fallgeschwindigkeit beeinflußt würde. J. P. van Zyl, der hierauf hinwies, konnte freilich nur ausnahmsweise bei von Odén nicht angewendeten Konzentrationen einen derartigen Zusammenhang feststellen.[9]) Doch schon vor Odén hatte ohne seine Kenntnis G. Nefedof diesbezügliche Erfahrungen mitgeteilt. Dieser hat nämlich bereits nach den gleichen Grundsätzen, wie S. Odén, nur weitaus unvollkommener, einen Apparat zur Bestimmung der in einer gewissen Zeit in Wasser niedersinkenden Bodenteilchen gebaut.[10]) Er stellte schon damals als Bedingung, daß das Flüssigkeits-Bodengemisch eine gewisse Dichte nicht überschreite, da sonst ein Zusammenballen der Teilchen stattfände, und die Unabhängigkeit des Falles aufgehoben würde. Ähnliche An-

[1]) H. Girard (Frankreich), Mém. Académ., Sciences Institut de France **4** (1819/20) und Annal. Physik u. Chemie **5** [81] 41 (1825).
[2]) G. Schübler, Grunds. d. Agrikulturchemie **1**, 15 (1830).
[3]) C. Luedecke, Abhandl. Hess. Geol. Landesanstalt **3**, 162 (1899).
[4]) Vgl. unten 116.
[5]) R. Zsigmondy, Kolloidchemie (1912) 143.
[6]) M. Faraday, Phil. Transact. Roy. Soc. **147**, I, 154 (1857).
[7]) S. Odén, Internat. Mittlg. Bodenk. **5**, 257 (1915); Koll.-Ztschr. **18**, 45 (1916).
[8]) Vgl. unten 112/13, auch Anm. 3, 322.
[9]) J. P. van Zyl, Journ. Landw. **64**, 253 (1916).
[10]) G. Nefedof, Journ. exp. Ldw. **3**, 447 (1902).

sichten vertrat W. R. Williams.[1]) Nun kann man ja gewiß, worauf S. Odén hinwies,[2]) durch Beseitigen fällend wirkender Elektrolyten und Aufladen der Teilchen mit Ammoniak einer Zusammenballung entgegenarbeiten. Ob freilich störende Adsorptionen dadurch vermieden werden können, erscheint, — vgl. oben — zweifelhaft. Und dann wird das Aufladen der Teilchen wieder dazu führen können, daß auch solche, die sonst in nicht allzu langer Zeit niedergefallen sein würden, praktisch unbegrenzt in der Schwebe verharren.[3]) Wenigstens fand D. J. Hissink, daß Ammoniakzusatz trügerische bzw. abweichende Ergebnisse bei der Schlämmanalyse zeitigte,[4]) ebenso H. Kappen.[5]) Weiter kann auch wegen chemischer Eigenschaften des Bodens, Gehalt an fällenden Elektrolyten, gelegentlich störende Zusammenballung bedingt werden, was Odén durch vorhergehende Dialyse nicht ohne Erfolg vermeidet.

Damit dürften die wichtigsten Eigenschaften der Aufschwemmungen bildenden Sande vom Standpunkt der Kolloidforschung behandelt sein. Auf manches davon wird erweiternd zurückzugreifen sein, wenn im folgenden Abschnitt der Ton besprochen wird.[6])

Der Ton.

Nicht nur der Ton, den der Landwirt und Forstmann als Bodenart kennt, sondern auch die sog. „abschlämmbare" oder Tonsubstanz, welche durch eins der vielverbreiteten Schlämmverfahren[7]) daraus isoliert werden kann, entbehrt der einheitlichen Zusammensetzung.[8]) Man hat diesem Umstande Rechnung getragen, indem man die abschlämmbaren Massen, die früher meist als Ton angesehen wurden,[9]) heute vielfach

---

[1]) W. R. Williams, Forsch. Geb. d. Agrikulturphysik **18**, 302, 305 (1895).

[2]) In freundlicher, brieflicher Mitteilung an den Verfasser.

[3]) Z. B. schon G. Vogt, Compt. rend **110**, 1199 (1890).

[4]) D. J. Hissink, Intern. Mittlg. Bodenk. **4**, 11/12 (1914).

[5]) H. Kappen, Landw. Versuchsstat. **88**, 32, 37, 39 (1916).

[6]) Vgl. unten 113—116, 203—206.

[7]) Schon J. N. von Schwerz, Anleitung prakt. Ackerbau, berichtet nach Dr. Burger, daß „es unmöglich ist, den Ton vom feinen Sande durch Schlämmen oder Kochen ganz zu befreien"; vgl. **1**, 39 (Stuttgart und Tübingen 1823).

[8]) Vgl. z. B. M. Fesca, Journ. Landw. **36**, 22 (1888); H. Kaserr, Wiener landw. Ztg. Nr. 35 vom 30. April 1910; A. Orth, Abhandl. geolog. Spezialkarte Preußen **2**, Heft 2, 106; weiter M. Fleischer, Bodenkunde in Ch. A. Voglers Grundlehr. d. Kulturtechnik **1**, (1) 38 (Berlin 1896); C. Hintze, Handbuch Mineralogie **2**, 848 (1897), behandelt den Ton als „anerkanntes Mineralgemenge" nicht, sondern will dies der Petrographie überlassen. Ähnlich C. Luedecke, Abhandl. Geol. Landesanstalt **3**, 167 (1899). E. Blanck, Journ. Landw. **60**,60 (1912).

[9]) Z. B. R. Otto, Grundzüge d. Agrikulturchemie (Berlin 1911) **38**.

dort, wo man sie zur Charakterisierung eines Bodens heranzieht, nur noch ihrer Gewinnungsart nach bezeichnet.[1]) Trotzdem findet sich weit verbreitet die Angabe, daß der Ton eigentlich im wesentlichen als durch irgendwelche Beimengungen verunreinigter Kaolin aufzufassen sei und daß demnach dem „reinen" Ton die Formel $Al_2O_3 . 2(SiO_2) + H_2O$ zukomme.[2]) Nach heutiger Anschauung müssen wir von dieser Meinung, die auch Kolloidchemiker noch teilen,[3]) durchaus abgehen.[4]) Denn der in irgendeiner Weise durch Abschlämmen aus Ackerboden erhaltene „Ton" zeigt ebenso wie der technisch benutzte nicht nur was Bildsamkeit, Hygroskopizität und Adsorptionsfähigkeit,[5]) sondern auch was chemische Zusammensetzung[6]) anbelangt, so vielfach andere Eigenschaften, als der Kaolin,[7]) daß man beide in keiner Weise als die gleiche, nur mehr oder weniger verunreinigte Substanz auffassen kann.[8]) Ebensowenig ist es natürlich möglich, was bereits E. Arntz zurückwies,[9]) den aus einem Boden abgeschlämmten Ton nun in seiner Gesamtheit als einheitliches Kolloid anzusehen. Bereits nähere Betrachtung unter einem Mikroskop wird in den meisten Fällen noch verhältnismäßig grobe Sandteilchen erkennen lassen; nur insofern wird man überhaupt den Ton in seiner Gesamtheit unter die Kolloide einreihen können, als ja, wie bereits gezeigt wurde, auch die Sande, in Wasser aufgeschwemmt, in mancher Beziehung an Kolloide sich annähernde Eigenschaften aufweisen und dies natürlich für die zumeist sehr feinen, sich im Ton findenden Sande besonders gilt[10]); dann aber, weil tatsächlich typische Kolloidstoffe im Ton vorkommen.

[1]) Also als „abschlämmbare Substanz nach E. Schöne, oder Nöbel, oder E. W. Hilgard, oder J. Kühn".

[2]) M. Neumayr, Erdgeschichte **1**, 400 (1886). H. Gruner, Grundriß Gesteins- u. Bodenkunde (Berlin 1896) 214; W. Detmer, Grundlagen landwirtsch. Bodenkunde (1876) 455; S. von Piedzicki, Mitteil. landw. Inst. Univ. Leipzig, Heft **2** (1901) 17—18; W. Bagger, Deutsch. Landw. Presse **34**, 694 (1907), wo auch noch weiteres. H. Ost, Lehrb. techn. Chemie, 3. Aufl. (Hannover 1898) 232. 6. Aufl. 288 (1907). A. E. Tucker, Journ. Soc. Chem. Ind. **29**, 467 (1910). R. Otto, a. a. O. 79.

[3]) R. Zsigmondy, Erkenntnis d. Kolloide (Jena 1905) 13 und Tafel III.

[4]) So auch J. Dumont, Compt. rend. **142**, 345 (1906).

[5]) J. Dumont, Compt. rend. **142**, 345 (1906).

[6]) E. Arntz, Landw. Versuchsstat. **70**, 270 (1909).

[7]) Vgl. H. A. Segers gesamm. Schriften, herausgegeben von H. Hecht und E. Cramer (Berlin 1896) 56.

[8]) Vgl. auch z. B. J. Dumont, Compt. rend. **142**, 345 (1906).

[9]) E. Arntz, a. a. O. 270.

[10]) R. Warington, Lectures some physic. properties of soil (Oxford 1900) 24.

Zur Erklärung der Eigenschaften des Tons wichtige Beobachtungen.

Wir werden einer zweckdienlichen Auffassung des Tons[1]) wohl am nächsten kommen, wenn wir von den Untersuchungen Th. Schlösings des Älteren[2]) ausgehen. Dieser suchte den Boden mechanisch durch Absetzenlassen aus Wasser in verschiedene Größenklassen zu zerlegen und gelangte so zu Sanden von immer geringerem Korndurchmesser. „Unter einem Durchmesser von 0,0005 mm beginnt" nach ihm „die Reihe der tonigen Sande, und an sie grenzen dann die (auch mikroskopisch)[3]) unsichtbaren Sande, die unbegrenzte Zeit in reinem Wasser aufgeschwemmt bleiben können und den Kolloidton darstellen."[4]) Von den gröberen, ohne weiteres als Sand erkennbaren Teilen eines Tonbodens bis zu den allerfeinsten, die bereits die Zerteilung von Kolloiden im eigentlichen Sinne des Wortes aufweisen, haben wir also nach Schlösing eine stetig ineinander übergehende Reihe anzunehmen.

Übrigens bestätigen anderweitige Untersuchungen, daß in der Tat die feine Zerteilung zwar nicht das einzige, aber doch ein besonders kennzeichnendes Merkmal für die Böden darstellen muß, die wir als tonig bezeichnen. Schon R. Graf Chaptal machte vor rund hundert Jahren darauf aufmerksam, daß gewisse Böden nahezu alle dem Tonboden eigentümlichen Fehler aufweisen, ohne doch ein Übermaß an Tonerde zu enthalten; die sehr feine Beschaffenheit der diesen Boden

[1]) Ältere Anschauungen bei C. Sprengel, Bodenkunde (1837) 85; G. Schübler, Grunds. d. Agrikulturchemie, 2. Aufl., **2** (1838) 13; W. Schumacher, Physik in Anwend. a. Agrikultur u. Pflanzenphysiologie (Berlin 1864) **1**, 189; W. Knop, Kreislauf d. Stoffes (1868) **1**, 482; W. Detmer, a. a. O. 455.

[2]) Th. Schlösing d. Ä., Compt. rend. **70**, 1347 (1870); **78**, 1438 (1874); **79**, 473 (1874); E. Frémys Encyclop. chim. **10**, 67 (Paris 1885). Hier finden sich die ersten Mitteilungen über den für die Eigenschaften der Tone maßgebenden Gehalt an Kolloidton, wenn man nicht eine von Schlösing erwähnte Angabe de Gasparins heranziehen will — Compt. rend. **132**, 1203 (1901) —, der annahm, daß die aus dem Boden durch kochende Salzsäure oder Königswasser auszuziehende Tonerde frei ist, und die „zähen" Eigenschaften desselben bedingt. Da aber auch noch von verschiedenen anderen Forschern, E. W. Hilgard, W. R. Williams, R. Warington u. a., ähnliche Ansichten geäußert wurden, so ist die Behauptung P. Rohlands, Koll.-Zeitschr. **4**, 225 (1909), „er habe 1902 zuerst darauf hingewiesen, daß die Ursachen der Plastizität der Tone in ihrem Gehalt an Kolloidstoffen zu suchen sind", als irrtümlich zu bezeichnen.

[3]) Notiz des Verfassers, die sich aus den Arbeiten Th. Schlösings d. Ä. ergibt.

[4]) Th. Schlösing d. Ä., Compt. rend. **137**, 369 (1903).

zusammensetzenden Bestandteile gab die Ursache dafür ab.[1]) Deutlicher und mit den Mitteln des Versuchs konnten S. W. Johnson und R. F. Blake[2]) bei Kaolinit durch lang fortgesetztes Zermahlen in einem Mörser Eigenschaften, wie sie Ton aufweist,[3]) erzielen, ebenso G. Vogt.[4]) Ähnlich gelang dies A. Atterberg bei Glimmern und Kaolin[5]) sowie Haematit,[6]) Sh. Kasai[7]) bei Nakrit, H. Le Chatelier bei Glimmer und Glaukonit.[8]) Sogar das spröde Wolframmetall wird durch wochen- und monatelanges Mahlen zu einer bildsamen Masse zerkleinert.[9]) Endlich wird anscheinend Torf durch langes Rühren in feuchtem Zustande klebriger, zäher, was wohl auch noch hier zu erwähnen wäre.[10]) Und A. D. Hall schloß aus von mir schon anderen Orts verwerteten[11]) Versuchsergebnissen, daß die Feinheit der Körner ein notwendiger Faktor für die Eigenschaften des Tons ist und daß dessen besondere Eigenschaften sich nur bei einem Gesteinsmehl entwickeln, dessen Teilchen im Durchmesser kleiner als 0,002 mm sind.[12]) Danach werden wir als grundlegende Eigenschaft für Ton die feine Zerteilung des Stoffes um so mehr ansehen müssen,[13]) als ebenfalls nach A. D. Hall ein Niederschlag von grobkörnigem Kaolinitmaterial, also Ton nach der alten chemischen Definition, sich wie Sand verhielt; Niederschläge aber, die besonders aus sehr fein verteiltem Quarz bestanden, alle Eigenschaften besaßen, die man Tonböden

---

[1]) R. Graf Chaptal, Agrikulturchemie **1**, 175 (1824); A. v. Rosenberg-Lipinsky, Der praktische Ackerbau, 7. Aufl., **2**, 90, 191 (Breslau 1890); R. Warington, Lectures physic. properties soil (Oxford 1900) 24. Auch der äußerst feinkörnige Sand z. B. der „Bremer Heide" führt wegen seines in vieler Beziehung dem Lehm ähnlichen Verhaltens die weiter unten besprochene Bezeichnung: „Flottlehm".

[2]) S. W. Johnson und R. F. Blake, Amer. Journ. Science Arts (2). **43**, 357 (1867).

[3]) Nämlich Bildsamkeit und zähe klebende Beschaffenheit.

[4]) G. Vogt, Bullet. Société d'encouragement (1897) 638.

[5]) A. Atterberg, Verh. zweit. internat. Agrogeol.-Konferenz (Stockholm 1911) 288.

[6]) A. Atterberg, Intern. Mittlg. Bodenk. **3**, 318 (1913).

[7]) Sh. Kasai, Inauguraldissertation (München 1896) 20.

[8]) H. Le Chatelier, Van Bemmelen-Gedenkboek (Helder 1910) 167.

[9]) K. Arndt, Koll.-Zeitschr. **4**, 3 (1909).

[10]) Nach gelegentlicher Beobachtung im Göttinger agrikulturchemischen Institut. Ch. A. Davis, Eigth. Ann. Rpt. Geol. Survey Michigan, 320, 325 (1906) findet, daß mit zunehmender Feinheit der Beschaffenheit Torf steigende Bildsamkeit zeigt.

[11]) P. Ehrenberg, Zeitschr. angew. Chem. **24**, 1957 (1911).

[12]) A. D. Hall, The Soil (1908) 37.

[13]) Vgl. auch z. B. noch: H. Snyder, Soils and Fertilizers, 3. Aufl. (1911) 16.

gewöhnlich zuschreibt.[1]) Die mit diesen Ausführungen scheinbar im Widerspruch stehende Beobachtung, daß unter Umständen vieles Mahlen die Bildsamkeit verringert,[2]) z. B. bei Tonen, ist völlig im Zusammenhang mit meinem Erklärungsversuch durch die verteilende Wirkung der in solchem Fall unter dem Einfluß der Hydrolyse sich bildenden alkalischen Reaktion zu erklären.[3])

Indes auch hier wird man vermeiden müssen, nach Beseitigung des bisherigen Extremes, das wesentlich, ja ausschließlich die chemische Beschaffenheit über die Zugehörigkeit zum „Ton" entscheiden lassen wollte, nun etwa ausschließlich in der Zerteilung[4]) die Bedingung für die Eigenschaften des Tons zu erblicken. Ich habe bereits früher[5]) darauf hinweisen können, daß zwar durch feines Zermahlen aus Kaolin und Glimmern[6]) völlig bildsame[7]), also Toneigenschaften zeigende Massen erhalten werden konnten, aber nicht aus dem Härte 6 zeigenden Feldspat,[8]) auch nicht aus Glas,[9]) noch weniger aber aus dem Quarz[10]) mit Härte 7. Es liegt nahe, worauf schon E. W. Hilgard flüchtig hinwies,[11]) die geringe Härte des Materials als bedeutungsvoll anzusehen, weil sie eine umfangreichere und weitergehende Zerteilung gestattet. Damit wären wir aber bereits bei Einflüssen der chemischen Zusammensetzung; denn je nach dieser muß natürlich ein Mineral weicher oder härter sein. Doch wird wahrscheinlich auch dieser Hinweis noch nicht genügen. Die chemische Zusammensetzung dürfte sehr wahrscheinlich auch nach anderer Richtung hin bedeutungsvoll sein. Zunächst mag die Zusammensetzung der feinsten Teilchen, die man aus Tonen hat isolieren können, hier einen Fingerzeig geben. Denn wenn auch bei künstlicher Zerteilung die Härte Hindernisse in den Weg legen könnte, so daß es nicht gelänge,

---

[1]) A. D. Hall, Journ. Chem. Soc. Transact., **85**, Teil 2, 958 (1904).

[2]) H. E. Ashley, Sprechsaal **43**, 121 (1910) Anmerk.

[3]) Vgl. auch Seite 134 Anmerk. 6.

[4]) K. Glinka, Geolog. Zentralbl. **1**, 98 (1901), kommt bei der Untersuchung von Tonen zu der Ansicht, daß bei den Gesteinen des Nordens vorzugsweise die Zerkleinerung festzustellen ist, während die chemische Verwitterung erst die zweite Stelle einnimmt.

[5]) P. Ehrenberg, Zeitschr. angew. Chem. **24**, 1957 (1911).

[6]) Vgl. S. W. Johnson und R. F. Blake, wie A. Atterberg, a. a. O.

[7]) „plastische".

[8]) A. Atterberg, a. a. O.

[9]) Nach E. Orton, vgl. Keram. Rundschau **9**, 446 (1901). Dem widerspricht A. S. Cushmann, U. S. Dept. Agric., Bur. Chem. Bull. **92** (1905).

[10]) Nach G. Keppeler, vgl. Bericht 35. Hauptvers. Verb. Keram. Gewerbe Deutschl. 66 (1912).

[11]) E. W. Hilgard, Soils (Neuyork 1906) 60.

in der verhältnismäßig kurzen Zeit eines Versuchs genügend große Mengen harter Substanzen so fein zu zerteilen, daß sich die Eigenschaften des Tons ergeben, so könnte dies doch kaum für die unendlichen Zeiträume maßgebend sein, die zur Aufbereitung unserer Erdböden verfügbar waren. Man müßte danach schließen, daß, falls es die Zerteilung allein ist, welche die Eigenschaften der Tone hervorzubringen vermag, man in der Erde auch Tone finden würde, die etwa nur aus äußerst fein verteilter Kieselsäure bestehen. Das ist aber nach allem, was man über die Zusammensetzung der Tone weiß, nicht der Fall, obwohl z. B. die Groß-Almeroder Glashafentone äußerst kieselsäurereich sind. Auch die Untersuchungen von Th. Schlösing d. Ä., der ähnlich wie E. W. Hilgard[1]) in seinem Kolloidton die Zusammensetzung eines wasserhaltigen Aluminiumsilikats fand,[2]) wie von A. D. Hall, der mit dem Zunehmen der Feinheit der Naturbodenteilchen und damit ihrer Annäherung an die Eigenschaften des Tons ein Vorherrschen der Aluminiumsilikate beobachtete,[3]) deuten klar auf die Bedeutung der chemischen Zusammensetzung hin. Man wird demnach annehmen müssen, daß zum Zustandekommen von tonigen Massen im Boden einmal feinste mechanische Zerteilung gehört, dann aber auch gewisse Bedingungen[4]) der chemischen Zusammensetzung. Interessant erscheint hierzu die Mitteilung von E. W. Hilgard,[5]) daß er einen nur sehr wenig bildsamen, kreideartigen Pfeifenton durch achtzigstündiges Kochen „sehr bildsam und diffundierbar" gemacht habe. — Aus den oben erwähnten Untersuchungen soll übrigens nicht geschlossen werden, daß nun Aluminiumsilikat allein diese Bedingungen erfüllen kann; gibt es doch nach P. Rohland[6]) die stark bildsamen, zinkführenden Tone,[7]) die fast gar kein Aluminiumsilikat enthalten sollen, wohl aber

[1]) Ebenda 59.

[2]) Th. Schlösing d. Ä., E. Frémys Encyclopæd. chim. **10**, 67 (Paris 1885). Bestätigt von R. Warington, a. a. O. 25. Siehe unten 103/4.

[3]) A. D. Hall, The Soil (London 1908) 36.

[4]) Unter Umständen mag erst durch aufteilende Wirkung gewisser Ionen die Zerteilung fein genug werden, und die mechanische Zerkleinerung so Unterstützung finden.

[5]) E. W. Hilgard, Forsch. Geb. Agrikulturphysik **2**, 450 (1879). Untersuchungen über die Wirkung des Kochens auf Ton sollen im agrikulturchemischen Institut Göttingen durchgeführt werden.

[6]) P. Rohland, Verh. Ges. deutsch. Naturforscher u. Ärzte, **2**, 1. Hälfte (1912) 235.

[7]) P. Rohland, Koll.-Zeitschr. **4**, 225 (1909). Die dort angegebene Literaturstelle war trotz mannigfacher Bemühungen nicht wieder aufzufinden; ein Gehalt von Tonen an Galmei wird schon von A. Sauer erwähnt, vgl. geol. Spezialkarte Baden, Bl. Neckargemünd (1898).

Zinkhydroxyd und Kieselsäure. Indes dürften für die landwirtschaftlich in Betracht kommenden Tone solche und ähnliche Ausnahmen keine Bedeutung besitzen.

Um uns weiter über die Gründe für die kennzeichnenden Eigenschaften der Tone zu unterrichten, gehen wir auf Mitteilungen ältester Art zurück, die R. Graf Chaptal macht.[1]) Dieser verglich einen Tonboden und eine andere Ackererde, welche „die dem Tonboden eigentümlichen Fehler beinahe in eben dem Grade hatte, als dieser, ohne daß man es einem Übermaße von Tonerde hätte zuschreiben können. Der einzige Unterschied besteht darin, daß jene beim Trocknen keine so harte Masse bildet, als der Ton, sondern im Gegenteile in ein unfühlbares Pulver zerfällt, sobald man mit der Hand darauf drückt." Die Tonsubstanz muß sich also von einer ähnlichen Masse sehr feinen Sandes noch durch ein Bindematerial unterscheiden, das beim Eintrocknen die feinen Teilchen zusammenkittet.[2]) Daß hierfür der Kolloidton Th. Schlösings d. Ä. in Frage kommt, erwiesen die Untersuchungen dieses Forschers deutlich, da ohne ihn der sandige Rückstand des Bodens nur sehr schwaches Zusammenhalten zeigte, viel geringeres, als sein Ausgangsmaterial. Der Kolloidton selbst dagegen zeigte sich beim Austrocknen als harte Masse von hornigem Äußeren. Er ist, wie Th. Schlösing d. Ä. dies direkt ausspricht, wirklich das Bindemittel der Tone.[3]) Annähernd die gleichen Schlüsse zog E. W. Hilgard aus seinen Untersuchungen, die unabhängig von denen Th. Schlösings d. Ä. angestellt waren,[4]) und auch R. Warington, ferner W. R. Williams vertreten ungefähr die gleiche Anschauung, nur daß dieser seinen noch nicht ausreichend gereinigten Kolloidton als „Schlamm" bezeichnet.[5]) Wenn wir nun gemäß dieser soeben geäußerten Ansicht im Tonboden einerseits feine und feinste Sande, andererseits Kolloidton als die beiden wesentlichen Bestandteile annehmen,[6]) so dürfen wir

[1]) R. Graf Chaptal, Agrikulturchemie, **1**, 173 (1824).

[2]) Ganz Ähnliches bei R. Warington, a. a. O. 24.

[3]) Th. Schlösing d. Ä., E. Frémys Encyclopædie **10**, 67 (Paris 1885). Vgl. besonders unten 98.

[4]) Vgl. z. B. E. W. Hilgard, Soils (Neuyork 1906) 4.

[5]) W. R. Williams, Forsch. Geb. Agrikulturphysik **18**, 234 (1895).

[6]) Ganz verblüffend ist es übrigens für den wissenschaftlichen Arbeiter heutiger Tage, zu entdecken, daß schon bei J. N. von Schwerz sich Angaben über die nähere Beschaffenheit und Zusammensetzung des Tons finden, welche auch der heutige Bodenforscher im wesentlichen unterschreiben kann, und die sich ziemlich mit dem oben Angegebenen decken (Anleitung zum praktischen Ackerbau **1**, 26 [Stuttgart und Tübingen 1823]). J. N. von Schwerz führt aus, daß der agronomisch so bezeichnete Ton aus einem Gemisch reiner Tonsubstanz und einer gewöhnlich überwiegenden Menge feinsten Sandes, bestehe, die man beide beim Ab-

doch andererseits wieder kaum mit Th. Schlösing d. Ä. sagen, daß der Ton demnach aus zwei sehr verschiedenen Stoffen zusammengesetzt sei, ohne scharf darauf hinzuweisen, daß sehr wahrscheinlich Kolloidton und feinste Sande ein und demselben Zerteilungsvorgang im Boden ihre Entstehung verdanken.[1]) Wir können hier vielleicht, um einer Klarlegung näher zu kommen, einige Ausführungen von A. Fadejeff[2]) heranziehen: In einem Boden wird die Zerkleinerung der Quarzteile gegenüber anderen, etwa Feldspatteilchen, langsamer von statten gehen, entsprechend der verschiedenen Härte, wodurch im Boden zunächst ein Übergewicht feiner Feldspatteilchen im Vergleich zu den Quarzteilchen der entsprechenden Größe[3]) auftritt. Dann aber, bei geringeren Größen der Teilchen,[4]) beginnt der Feldspatgehalt der Produkte der mechanischen Analyse rasch abzunehmen. Dies erklärt sich dadurch, daß jetzt mit zunehmender Größe der Oberfläche im Verhältnis zur Masse der Einfluß der chemischen Verwitterung steigt,[5]) wobei die schwer zersetzbaren Quarzteilchen nun von derselben weit weniger schnell gelöst werden, als die Feldspatteilchen. So kommt es, daß in den dann immer feiner werdenden Größengruppen[6]) eines gewissen Ausdehnungsgebietes die Quarzteilchen völlig überwiegen. Soweit A. Fadejeff. Was aber wird aus den Feldspatteilchen, die durch die stärkere Verwitterung so viel schneller als der Quarz aus den feinen Korngruppen verschwinden? A. D. Halls Untersuchungen vermögen hier vielleicht Auskunft zu bringen. Dieser Forscher veröffentlichte u. a. folgendes Ergebnis einer mechanischen Bodenanalyse:

schlämmen vom gröberen Sande trenne und nun zusammen als unfühlbare Substanz erhalte. Da im Boden dieses Gemisch immer nur einen größeren oder geringeren Bruchteil ausmache, so sei jene reine Tonsubstanz von außerordentlicher und auffallender Bindungskraft für die übrigen Bodenbestandteile. Also ganz das, was wir heute als Kolloidton kennen, hier als „reine" Tonsubstanz bezeichnet und in seiner klebenden, bindenden Beschaffenheit deutlich geschildert. Es wäre ganz gut möglich, daß den Angaben von v. Schwerz experimentelle Unterlagen zugrunde liegen.

[1]) Später hat übrigens Th. Schlösing d. Ä. selbst diese Ansicht vertreten, ja er bekannte sich nun sogar zu der mir noch zu weit gehenden Anschauung, daß der Kolloidton aus derselben Substanz bestehe wie die mikroskopisch noch sichtbaren Teilchen; vgl. Compt. rend. **134**, 631 (1902).

[2]) A. Fadejeff, Forsch. Geb. Agrikulturphysik **18**, 231 (1895).

[3]) Etwa bis 1 mm Durchmesser.

[4]) Von 1 mm an bis etwa 0,25 mm.

[5]) So ist auch bei der Einwirkung von Säuren auf Bodenteilchen die Korngröße von Bedeutung. Vgl. R. Gans, Intern. Mittlg. Bodenk. **5**, 39 (1915).

[6]) Von 0,25 bis 0,0015 mm.

Annähernde Teilchendicke in mm	Prozente des ursprüngl. Bodens	enthalten in Prozenten an		
		Kieselsäure	Eisen-hydroxyd	Aluminium-hydroxyd
0,2 —0,04	24	94,6	1,1	3,4
0,04 —0,01	35	92,0	1,2	6,2
0,01 —0,004	11	88,3	1,8	8,5
0,004—0,002	6	61,7	7	23,4
unter 0,002	24	45,9	12,2[1])	30,9

Auch hier sehen wir demnach ein starkes Überwiegen des Kieselsäuregehaltes bei den Teilchendicken von 0,2 bis etwa 0,004 mm. Dann aber wird es wieder durch eine sehr starke Vermehrung des Prozentgehaltes an Aluminiumhydroxyd (und Eisenhydroxyd) abgelöst. Vielleicht dürfen wir hieraus folgendes schließen: Von dem Augenblick an, in welchem die Bodenteilchen eine Kleinheit[2]) erreichen, welche die Wirkung der chemischen Verwitterung gegenüber der mechanischen mehr und mehr begünstigt, zerfallen die Feldspatteilchen erheblich schneller, als die Quarzteilchen, und je kleinere Durchmesser sie dabei erreichen, um so eiliger geht die weitere Zerkleinerung und Zersetzung vor sich. So kommt es gar nicht mehr zu einer erheblichen Anhäufung kleinster Teilchen, wie beim Quarz, sondern zu einer Vernichtung des Feldspats als solchen. Ein Teil der Bestandteile desselben wird durch die Bodenwässer gelöst, ein anderer, der schwerer angreifbare aber, bleibt in nicht nur mechanisch, sondern auch chemisch herbeigeführter allerfeinster Verteilung zurück; dies sind voraussichtlich zumeist Aluminiumsilikate, auch Eisenhydroxyd u. dgl., sowie adsorbierte Basen. Diese allerfeinst zerteilten Stoffe haben derart nun völlig den Kolloidzustand erreicht, sie stellen den Kolloidton dar. So erklärt es sich, daß das Eisen- wie Aluminiumhydroxyd der Kieselsäure gegenüber in den Fraktionen mit den geringsten Teilchendicken in steigendem Maße stark zunimmt, wie wir es bei A. D. Halls Zahlen beobachten können. — Übrigens stellte schon M. Witney fest, daß das spez. Gewicht der feinsten Teilchen des Bodens größer sei, als das der sämtlichen übrigen Korngrößen, 2,84 gegen-

[1]) Ebenso teilt J. M. van Bemmelen — Arch. Néerland. Scienc. exact. natur. (2) **10**, 237 (1905) — mit, daß er seit langem beobachtete, wie in schweren Tonen der Überrest vom Absatz größere Eisenmengen enthält. Entsprechende Beobachtungen machte auch Th. Schlösing d. Ä. — Compt. rend. **135**, 601 (1902).

[2]) Nach A. Fadejeff ungefähr bei 0,5 mm.

über etwa 2,65—2,70, und begründete dies mit einer Anreicherung an Eisenverbindungen,[1]) was ja mit A. D. Halls oben angeführten Werten gut übereinstimmt. Ebenso unterwarf L. A. Steinkönig[2]) die verschiedenen Korngruppen im Boden einer Prüfung, und stellte in gleicher Weise dabei mit abnehmendem Durchmesser eine Anreicherung an Eisen und Tonerde fest. Außerdem zeigte sich noch Phosphorsäure und Kali vermehrt, wie auch z. B. G. Given im Kolloidton nicht unerhebliche Phosphorsäuregehalte ermittelte, und O. Nolte erhebliches Ansteigen des Kaligehalts. Man vergleiche aber unten die Kolloidtonanalysen.

Kolloidton.

Natürlich wird dieser Kolloidton nur in sehr geringer Menge in dem an Ort und Stelle durch natürliche Verwitterung entstandenen Boden vorhanden sein können, da er, seiner enormen Oberfläche entsprechend, den lösenden Einflüssen des Wassers viel Angriffspunkte bieten muß.[3]) Indes besteht er einmal aus ziemlich widerstandsfähiger Substanz, da er ja eben das ungelöst Übriggebliebene darstellt, dann wird er auch wieder durch Ansammlung sowohl völlig gelöster, wie im Kolloidzustand befindlicher Stoffe aus dem Wasser des Bodens auf dem Wege der Adsorption seine Menge vermehren.[4]) Dies ist aus Ermittelungen von W. R. Williams[5]) zu entnehmen. Ob aus dem zum Teil erheblich wechselnden Gehalt an Kali[6]) der bei der Schlämmanalyse des Bodens sich ergebenden, feinsten

[1]) M. Whitney, zit. nach T. L. Lyon und E. O. Fippin. Soil Management, 7. Aufl. (Neuyork 1913) 95.

[2]) L. A. Steinkönig, Journ. Ind. Eng. Chem. **6**, 576 (1914).

[3]) Daß die Löslichkeit eines Stoffes mit seiner Zerkleinerung und dem damit verbundenen Steigen seiner Oberfläche zunimmt, ist eine Erfahrung, von der die Landwirtschaft Gebrauch macht, wenn sie bei schwerer löslichen Düngemitteln feinste Mahlung verlangt, z. B. beim Thomasmehl und beim Kalk, zumal dem kohlensauren. Theoretisch ist dazu zu vergleichen: G. Hulett, Zeitschr. physik. Chem. **37**, 395 u. 406 (1901); **47**, 357 (1904); F. Kohlrausch, ebenda **47**, 625 (1904).

[4]) Daß die ansammelnde Wirkung der Adsorption sehr bedeutungsvoll sein kann, erhellt u. a. daraus, daß Sv. Arrhenius sie sogar zur Erklärung für die Bildung der Weltkörper heranzieht. (Nach Mitteilungen in einem im phys.-chem. Inst. d. Univ. Göttingen gehaltenen Vortrag [1912].)

[5]) W. R. Williams, Forsch. Geb. Agrikulturphys. **18**, 235 (1895). Vgl. auch unten 616, Anm. 6.

[6]) J. Dumont, Compt. rend. **138**, 215 (1904) und H. Puchner, Landw. Vers.-Stat. **66**, 463 (1907), ermittelten zum Teil recht geringe Kaligehalte im „Schlamm"; W. R. Williams, a. a. O. 271, fand dagegen, daß sich der Kaligehalt der feinsten Bodenbestandteile — des Schlamms — bis auf 9—10 % steigern kann, auch R. Sachsse — Chem. Zentralbl. **1**, 752 (1895) — und J. Jolzinsky — Journ. exp. Ldw. **9**, 227 (1908) — fanden im Schlamm eine Anreicherung des Kalis.

Teile, des sogen. „Schlammes", ein Schluß auf die darin enthaltene Menge an Kolloidton gezogen werden kann, steht noch dahin. Man könnte annehmen, daß dort, wo er reichlich vorhanden ist, die feinsten Teile der Schlämmanalyse eher eine Anreicherung an Kali aufweisen müßten. Doch liegen auch hier die Verhältnisse nicht ganz einfach. — Kolloidton kann endlich auch wieder neu durch die Verwitterung gebildet werden. Auch die trotz ihrer verhältnismäßig großen Widerstandsfähigkeit zuletzt untermikroskopische Kleinheit erreichenden Quarzteilchen mögen vielleicht etwas zu seiner Vermehrung beitragen, zumal unter dem Einfluß einer dafür günstigen chemischen Verwitterung, soweit die Teilchen dann nicht etwa einer zunächst kristalloiden Auflösung anheim fallen. Die Hydrolyse im Boden mit ihrer alkalischen Reaktion dürfte dabei eine maßgebende Rolle spielen.

Immerhin muß in dem an Ort und Stelle aus kristallinischen Gesteinen entstandenen Boden die Menge des Kolloidtons eine äußerst geringe sein. Das ändert sich aber bei dem auf sekundärer Grundlage ruhenden, der durch Gewässer, oder Wind an seine heutige Stelle gebracht wurde. Hierbei ist, wie ohne weiteres einleuchtet, eine je nach den Umständen größere oder geringere Sortierung der Bodenbestandteile erfolgt, soweit nicht stärkerer Salzgehalt des Wassers eine vorzeitige Fällung bedingte. Die gröberen sind bald herabgesunken, die feineren werden weitergeführt, wie es noch heute jeder Fluß mit seinen Sinkstoffen tut. Wo nach längerem Transport endlich vorwiegend nur noch feine Bodenteilchen niedersanken, mußte naturgemäß auch der Kolloidton nun prozentisch in erheblich größerer Menge vorhanden sein und seine, die feinsten Sandteilchen verklebenden Eigenschaften geltend machen. Hier haben wir dann Tonböden, bis hin zu dem landwirtschaftlich unbrauchbaren reinen Pfeifenton.

Immer aber macht der Kolloidton nur einen sehr beschränkten Anteil auch der schweren Tonböden aus. Th. Schlösing d. Ä., dessen Angaben gewiß hierin das größte Vertrauen verdienen, nimmt[1]) für mageren Ton 0,5% Kolloidton an — das würde also wohl für die meisten landwirtschaftlich benutzten Tonböden in Frage kommen — und rechnet damit, daß der Gehalt an Kolloidton nur selten überhaupt den Satz von 1,5 fürs Hundert überschreitet.[2]) Im Göttinger agrikulturchemischen Institut

[1]) Th. Schlösing d. Ä., E. Frémys Encyclop. chim. **10**, 67 (Paris 1885).

[2]) F. Sestini bestätigte Th. Schlösings d. Ä. Ansichten und gab an, daß selbst die strengsten Tone nicht mehr als ein Drittel eigentliche Tonsubstanz enthalten. Ich möchte annehmen, daß auch diese Zahl noch erheblich zu hoch gegriffen ist. Staz. sperim. agr. ital. **2** [1879]; Landw. Versuchsstat. **25** 47 [1880]. Vgl. auch R. Warington, a. a. O. 25 ff.

wurden von G. Given ähnliche Werte erhalten. Der französische Forscher hat übrigens [1]) selbst, als sein Arbeitsverfahren offenbar noch weniger vollkommen war, weit höhere Gehalte an Kolloidton angenommen: 16—20 % und bei extrem schwerem Boden 35 %. Gehalte daran, die ebenso zum Teil ganz erheblich höher sind und von E. Péligot,[2]) L. Grandeau,[3]) E. W. Hilgard,[4]) C. Luedecke[5]) — in gewisser Hinsicht kann man auch E. C. J. Mohr hier nennen[6]) — festgestellt wurden, erklären sich wie die älteren Zahlen Th. Schlösings d. Ä. höchstwahrscheinlich nur dadurch, daß diese Forscher mit kürzeren Absetzfristen arbeiteten, als später Th. Schlösing d. Ä. und wir in Göttingen, und daher den Kolloidton mit größeren oder geringeren Sandmengen verunreinigt erhielten. Darauf deuten auch Bemerkungen von W. R. Williams.[7]) Man möchte nun vielleicht, zumal wohl in Kreisen der Praxis, daran zweifeln, daß so sehr geringe Mengen eines Bestandteiles die Eigenschaften eines Stoffes derart wesentlich beeinflussen können. Dabei muß aber bedacht werden, daß eine ganze Reihe von Eigenschaften des Tons nicht allein von seinem Gehalt an Kolloidton abhängen. Die Fähigkeit zum Beispiel, das Wasser sehr stark festzuhalten, die dem Praktiker beim Tonboden vielleicht in erster Linie auffällt, ist durchaus nicht ausschließlich an den Kolloidton gebunden. Im Gegenteil, jeder feine Sand zeigt sie bereits ziemlich erheblich, wie u. a. Beobachtungen C. v. Seelhorsts beweisen, der bei Gefäßversuchen in feinem Tertiärsand Mißerfolge wegen zu großer Wasserhaltigkeit seines Bodens erzielte.[8]) Die Tatsache selbst ist ja auch in der Praxis bekannt. Hier handelt es sich nun aber immer noch um verhältnismäßig große, dem bloßen Auge ohne weiteres erkennbare Sandteile. Gehen wir indes zu den sehr feinen, durch Absetzenlassen vom Kolloidton zu trennenden Sandgruppen über, so nimmt die Fähigkeit, Wasser festzuhalten, ganz außerordentlich zu,[9]) natürlich entsprechend der Kleinheit der Sandteilchen immer mehr. Nach A. Atterberg beginnen Sandteilchen bereits bei einem Durchmesser von

[1]) Th. Schlösing, Compt. rend. **78**, 1279 (1874).
[2]) E. Péligot, Traité chimie analyt. (Paris 1883) 155.
[3]) L. Grandeau, Traité d'anal. matières agric. **1**, 137 (1897).
[4]) E. W. Hilgard, Amer. Journ. Science Arts (3) **6**, 288 (1873).
[5]) C. Luedecke, Abhandlg. hess. Geol. Landesanstalt **3**, 170 (1899).
[6]) E. C. J. Mohr, Bull. départ. agricult. Indes Néerland. **41**, Geol. agron. **8**, 18, 28 (1910).
[7]) W. R. Williams, a. a. O. 249.
[8]) Nach mündlichen Mitteilungen. Vgl. auch schon die alten Angaben von G. E. W. Crome, Boden u. Verhältn. z. Gewächsen (Hannover 1812) 128, 141.
[9]) Vgl. W. R. Williams, Forsch. Geb. Agrikulturphysik **18**, 235 (1895).

weniger als 0,02 mm — was W. R. Williams z. B. noch als groben bis mittleren Staubsand ansieht[1]) — dem Boden den Charakter des Lehmes zu verleihen.[2]) Die Sande aber, die ihrer Größenordnung nach in der Nähe des Kolloidtons stehen, und gar diejenigen, welche zu ihm überleiten, müssen wir mit ganz erheblich geringeren Durchmessern ansetzen. Denn A. D. Hall[3]) fand in einem der Rothamsteder Böden — also nicht etwa in einem Pfeifenton — bereits 24% Teilchen von weniger als annähernd 0,002 mm Durchmesser, J. P. van Zyl im Boden von Deppoldshausen sogar über 30% Teilchen von weniger als 0,002 mm.[4]) Hieraus kann man entnehmen, wie gering der Durchmesser der feinsten Sande wird, da in einem mageren Ton nach Th. Schlösing d. Ä. doch nur etwa 0,5% Kolloidton sich finden. Denn die Gruppe der Sande von den unter 0,002 mm Durchmesser bis zu den direkt zum Kolloidton überleitenden betrug danach in diesem Falle A. D. Halls noch annähernd 23,5% von dem Gewicht des angewandten Bodens.

Um ein ganz grobes Beispiel für die Erscheinung beizubringen, daß recht geringe Mengen von Kolloidton weitgehenden Einfluß auf ein Gemisch feiner bis äußerst feiner Sande ausüben und sie z. B. beim Austrocknen zusammenkitten, sei an den Bau eines Hauses erinnert. Auch hier ist es eine vergleichsweise kleine Menge von Mörtel,[5]) welche größere behauene Steine zu einem festen, einheitlichen Stück Mauerwerk vereinigt. — Doch auch weitergehende Gründe können angeführt werden. Th. Schlösing d. Ä.[6]) sagt in dieser Beziehung: „Man darf sich nicht wundern, daß eine sehr kleine Kittmenge fähig ist, dem Ton seinen ganzen Zusammenhang zu geben. Die Kolloide können diese Wirkung in außerordentlichem Maße äußern. Wenn man feines Sandsteinpulver in einem sehr dünnen Leim verteilt, so gibt es einen geschmeidigen Teig, mit dem man Gegenstände formen kann, die beim Austrocknen erhärten, selbst wenn sie getrocknet nur 1% Leim enthalten. Man bekommt so also einen wirklichen, künstlichen Ton, der bildsam wird, wenn man ihn befeuchtet, und hart beim Austrocknen.“ Und wir können aus der oben gegebenen Erklärung für die Beschaffenheit des

[1]) W. R. Williams, a. a. O. 234.

[2]) A. Atterberg, Landtbrugs Akad. Handling. Tidskr. (Stockholm 1897) 385. Vgl. die weiter unten wiedergegebenen Mitteilungen über den Flottlehm.

[3]) A. D. Hall, The Soil (London 1908) 37.

[4]) J. P. van Zyl, Journ. Landw. **64**, 247 (1916).

[5]) Natürlich darf man sein Gewicht nicht feucht, sondern nur trocken zu dem der trockenen Mauersteine in Vergleich stellen.

[6]) Th. Schlösing d. Ä., E. Frémys Encyclopædie chimique **10**, 68 (Paris 1885).

Tons — daß er nämlich aus feineren bis feinsten Sanden, allmählich übergehend zu dem eigentlichen, Kolloidbeschaffenheit zeigenden Kolloidton besteht — nun auch seine Fähigkeit, trocknend zu einer festen Masse zu erhärten, uns ohne Schwierigkeit erklären.[1]) Vielleicht wird das auch bezüglich der Bildsamkeit, der Formbarkeit, zumeist als „Plastizität" bezeichnet, möglich sein, obschon wir uns dabei einem Problem nähern, das schon viel Deutungsversuche veranlaßte und doch bislang noch als nicht völlig geklärt angesehen wird.

Was nun den Kolloidton als solchen anbelangt, so liegt leider bislang kein umfangreicheres Versuchsmaterial über ihn vor, und Versuche an dem Göttinger Agrikulturchemischen Institut zu weiterer Kenntnis vorzuschreiten, sind durch den Krieg zunächst gehemmt, dann zum Stillstand gebracht worden. Das Wenige, was bislang vorhanden ist, sei nun erwähnt: Kolloidton wurde von P. Ehrenberg und G. Given[2]) aus hochbildsamem Ton von Gäbersdorf-Beckern in Schlesien hergestellt. Die erhaltene, etwa 0,04 g im Liter an lufttrockener Masse enthaltende Lösung von Kolloidton ist in auffallendem Licht mehr oder weniger opalisierend, in durchfallendem Licht ziemlich klar, nur etwas gelblich. Durch sehr starke Zentrifugenwirkung, wie durch Ausfrieren, war eine Ausscheidung nicht zu erzielen, sofort dagegen durch ein Fällungsmittel. Im Ultramikroskop ergab sich die Anzahl der Teilchen im Liter bei Untersuchung mit Bogenlicht und einem Untersuchungsfeld von 729 cub.-μ zu $7{,}683 \cdot 10^{12}$, was bei Annahme eines spez. Gewichtes des Tons von 3 und Würfelform der Teilchen einen annähernden Durchmesser von 140 $\mu\mu$ für das Einzelteilchen bedingen würde, falls sie alle gleiche Größe besitzen. Dies ist aber unwahrscheinlich, im Gegenteil darf man annehmen, daß eine vielleicht beträchtliche Menge von Teilchen nicht sichtbar wird. So ist die Teilchengröße wahrscheinlich geringer als der soeben angegebene Wert. W. J. A. Bliss berechnete den Durchmesser der in Wasser schwebenden Ton- und Sandteilchen zu 5000—100 $\mu\mu$[3]), so daß seine untere Grenze für schwebende Tonteilchen — die Sandteilchen sind natürlich mit 5000 $\mu\mu$ und ähnlichem Durchmesser die gröberen — mit der experimentellen Feststellung für Kolloidton gut zusammentrifft. Auch M.

[1]) Vgl. R. Warington, Lect. some phys. properties soil (Oxford 1900) 25. Ähnlich stellt H. Puchner fest, daß mit steigendem Zusammenhalt (Kohäreszenz) der Böden auch die in ihnen vorhandene Menge von „Schlamm" nach Fadejeff-Williams zunimmt. Dieser „Schlamm" steht dem Kolloidton bereits nahe.

[2]) G. Given, Inauguraldissertation (Göttingen 1915) 26 u. f.; P. Ehrenberg und G. Given, Koll.-Zeitschr. **17**, 33 (1915).

[3]) W. J. A. Bliss, Physic. Review **2**, 241 (1895).

Whitney nahm als geringsten Durchmesser toniger Teilchen aus schwach opalisierenden Flüssigkeiten, die wochenlang Zeit zum Absetzen gehabt hätten, 0,1 μ an.[1]) G. Wiegner endlich stellte den Durchmesser von kolloidem, durch Hydroxylion verteiltem Permutit zu 0,117—0,127 μ fest.[2]) Getrocknet gleicht Kolloidton, der durch Ultrafiltration gewonnen wurde, also nicht mit Chemikalien oder durch Kochen ausgeflockt wurde, auffallend einer dünnen Decke von getrockneter Gelatine, ist gegen das Licht gehalten fast durchsichtig und läßt es mit gelblicher Farbe durchdringen. 0,1 mm dicke Schichten bieten dem Licht kaum irgendein Hindernis. Aus der Ausgangstonmenge wurde etwa 1% Kolloidton gewonnen. Th. Schlösing d. Ä. rechnete auch bei schwerstem Ton 1,5 %. Da er voraussichtlich, so weit man an der Hand seiner Angaben zu urteilen vermag, nicht wie Ehrenberg und Given eine halbjährige Absatzzeit verwendete, sondern kürzere Fristen, dann natürlich auch anderen Ton, ergibt sich eine wohl befriedigende Übereinstimmung beider Werte.

Der als Ausgangsstoff dienende Ton aus Gäbersdorf-Beckern wies folgende Zusammensetzung auf, nachdem er mit sehr verdünnter Salpetersäure gereinigt und 13 Tage lang ausgewaschen war:

SiO_2	47,31 %	CaO	0,87 %
Al_2O_3	31,22 %	MgO	0,75 %
Fe_2O_3	1,54 %	Na_2O	0,60 %
		K_2O	0,20 %
		Glühverlust	16,16 %

oder in der vorher geglühten, wasserfreien Masse:

SiO_2	56,45 %	CaO	1,04 %
Al_2O_3	37,24 %	MgO	0,90 %
Fe_2O_3	1,84 %	Na_2O	0,72 %
		K_2O	0,24 %

Dagegen ergab der hieraus gewonnene Kolloidton die folgenden Werte in der vorher geglühten, wasserfreien Masse:[3])

SiO_2	53,2 %	CaO	0,9 %
Al_2O_3	42,0 %	MgO	0,7 %
Fe_2O_3	2,5 %	Na_2O	0,6 %
		K_2O	0,8 %

[1]) M. Whitney, U. S. Departm. Agricult., Wheater Bur. **4**, 21 (1892).
[2]) G. Wiegner, Journ. Landw. **60**, 201 (1912).
[3]) Nach Untersuchung von Herrn Privatdozent Dr. O. Nolte-Göttingen.

Auffallend ist u. a. die Anreicherung an Kali, die indessen dem zu erwartenden Ergebnis ganz entspricht. Daß Kolloidton aus anderen Bodenarten in der Zusammensetzung abweichen wird, ist zu erwarten.

Solche Angaben liegen unter anderem von Th. Schlösing d. Ä. vor,[1]) der z. B. in verschiedenen Kaolinen die darin vorhandenen, sehr geringen Mengen von Kolloidton untersuchte. Er fand für die wasserfreie Masse:

	Kaolin von Pieux[2])	Kaolin von Saussemesnil	Kaolin von Tolfa
SiO_2	55,83 %	55,44 %	52,23 %
Al_2O_3	41,03 %	36,15 %	39,75 %
Fe_2O_3	höchstens	2,21 %	höchstens
Na_2O	0,73 %	höchstens	0,27 %
CaO		0,32 %	1,79 %
MgO	1,20 %	1,44 %	1,45 %
K_2O	1,20 %	4,75 %	4,78 %

Weiter gab auch E. W. Hilgard eine Analyse seines Kolloidtons, der nach nur 24stündigem Absetzen aus einer Tontrübung in einer Wassersäule von 20 cm Höhe zurückblieb und mit Kochsalz gefällt wurde. Er enthielt zweifellos noch Sandteile und weitere Verunreinigungen, und ergab für die von Wasser und organischen Stoffen freie Masse:

Unlösliches 17,54 % lösliche SiO_2 36,39 % Beides zusammen als SiO_2 gerechnet 58,93 %

Al_2O_3 19,99 % Fe_2O_3 20,62 % (Na_2O 1,87 %, aber wegen des zur Fällung benutzten NaCl wohl unsicher.)

CaO 0,10 % MgO 1,46 % K_2O 1,62 %

Mn_3O_4 0,33 % P_2O_5 0,20 % SO_3 0,07 %

Nach einigen Versuchen von W. Meigen und H. G. Schering muß man annehmen, daß der Kolloidton eine sehr erhebliche Widerstandsfähigkeit gegen lösende Mittel besitzt. Diese Forscher kochten nämlich zwei Erdböden, Lößlehm und Gneislehm, je 1/4 Stunde mit konzentr. Salzsäure, behandelten sie dann mit 5% Natronlauge und verdünnter Salzsäure. Dann schlämmten sie den Rückstand bei 0,2 mm Wassergeschwindigkeit; die so erhaltenen feinsten Teilchen erwiesen sich in beiden Fällen als stark bildsam,[4]) dürften demnach Kolloidton in nicht

[1]) Th. Schlösing d. Ä., Compt. rend. **79**, 475/6 (1874).
[2]) Die Werte dürften nach Schlösings Angaben unsicher sein.
[3]) E. W. Hilgard, Soils, 385 (Neuyork 1906).
[4]) W. Meigen und H. G. Schering, Mittlg. Bad. Geol. Landesanstalt **7**, 664 u. 667 (1914).

geringer Menge enthalten haben. Einerlei, ob man nun annimmt, daß der die Bildsamkeit bedingende Kolloidton die Behandlung überstanden hat, oder daß er unter ihrem Einfluß noch ganz oder zum Teil erst neu gebildet wurde, jedenfalls muß er eine bemerkenswerte Widerstandsfähigkeit bewiesen haben. — Übrigens nimmt R. Warington an,[1]) daß die geringe Menge Ton, welche Kolloideigenschaften besitzt, also unser Kolloidton, stärker hydratisiert ist, als der übrige Ton. Wir werden dies, unter Hinweis auf die oben gegebene Erklärung für den Ton überhaupt, als nicht unwahrscheinlich ansehen, indes einfach mit den für die sehr kleinen Kolloidtonteilchen einen höheren, prozentischen Anteil ausmachenden Wasserhüllen erklären dürfen, bis spätere Forschung uns wirkliche Tatsachen und deren Erklärung an die Hand gibt.

Um den Lesern eine Vorstellung von den Größenverhältnissen des Kolloidtons zu geben, sei folgende Darstellung gebracht:

Wir wählen den Vergleich eines Kolloidtonteilchens mit einem mittelgroßen Sandkorn. Das letzte besitzt etwa, als Würfel dargestellt, eine Seitenlänge von 0,28 mm, das Kolloidtonteilchen eine Seitenlänge von 0,14 μ.

Um eine Vorstellung von den gegenseitigen Größenverhältnissen zu gewinnen, denken wir uns beide Teilchen völlig entsprechend und in gleicher Weise vergrößert.

Wenn das Kolloidtonteilchen dann als ein Würfel von 2 mm Seitenlänge erscheint, wie er nachstehend □ wiedergegeben ist, so würde das Sandkörnchen in seinen Größenverhältnissen einem geräumigen Wohnzimmer von etwa 2,6 m Höhe, 5 m Länge und 5 m Breite entsprechen. Besser als Zahlen oder Worte wird dieser Vergleich dem Leser einen Begriff von der geringen Ausdehnung eines Kolloidtonteilchens geben.

Bildsamkeit des Tons.

Wir werden uns zunächst den bisher zur Erklärung für die Bildsamkeit[2]) des Tons vorgebrachten Anschauungen zuzuwenden haben: Daß die Feinheit der Teilchen hierfür bedeutungsvoll sei, betont z. B. C. A. Davis,[3]) der dies aus der Beobachtung folgert, daß die Zugfestigkeit[4]) bei einem von Natur bildsamen Stoffe mit Abnahme der Teilchengröße stieg. Doch als eigentliche Ursache für die Bildsamkeit glaubt er die Fein-

[1]) R. Warington, Lectur. some physic. propert. soil, 25 (Oxford 1900).
[2]) Dies Wort soll hier stets für „Plastizität" gebraucht werden.
[3]) C. A. Davis, Agr. Student 7 Nr. 1 (1900). — [4]) Kohäsion.

heit der Teilchen noch nicht ansehen zu dürfen und stellt fest, daß sie bislang nicht ermittelt sei. Weiter geht M. Whitney, für den die Kleinheit der Teilchen allein das Maßgebende ist, wobei er auch Kolloide für seine Betrachtungen heranzieht.[1]) A. D. Hall nähert sich in manchem der gleichen Anschauung,[2]) sieht aber die Ursache der Bildsamkeit in der Gegenwart der zeolithischen Doppelsilikate, die von der Verwitterung der Feldspate in den Grundfelsen abhängt. E. W. Hilgard vertritt ungefähr die nämlichen Ansichten[3],) er glaubt, daß es die reine Tonsubstanz — etwa Th. Schlösings d. Ä. Kolloidton — sei, welche dem Boden Bildsamkeit und Kiebkraft gebe. Für diese Eigenschaften der reinen Tonsubstanz sei aber nicht nur ihre chemische Zusammensetzung, mit einem Gehalt von ca. 46 Kieselsäure zu 40 Tonerde, die auch der jeder Bildsamkeit ermangelnde, reinste Kaolinit aufweist, sondern ebenfalls die äußerst weitgehende Zerteilung maßgebend. Wir sehen, daß sich mehr und mehr eine Anlehnung an die Th. Schlösingschen Anschauungen findet, die wir an diesem Ort noch einmal ins Gedächtnis zurückrufen wollen. Der französische Forscher sieht natürlich die Zusammensetzung der Tonböden aus feineren und feinsten Sanden und Kolloidton auch als Ursache der Bildsamkeit an, obwohl er auf diese letztgenannte Eigenschaft nur wenig eingeht. R. Warington, der sich Th. Schlösings d. Ä. Anschauungen im wesentlichen zu eigen macht, weist etwas deutlicher darauf hin, daß für die Zähigkeit, also Bildsamkeit der Böden, der an sich nur geringe Gehalt an Kolloidton das Maßgebende ist.[4]) Auch erkennt er ja dem Kolloidton eine stärkere Hydratisierung zu. Recht ähnlich sind die von H. A. Seger vertretenen Ansichten, nur daß dieser nicht von Kolloidton spricht, sondern von den Substanzen, die im Schlämmwasser am längsten suspendiert bleiben, dann aber, ähnlich einem vielleicht nicht ganz reinen Schlösingschen Kolloidton, zu einer dichten, harten, hornartigen und spröden Masse zusammentrockneten.[5]) Auch J. M. van Bemmelen sieht in der Bildsamkeit der Tone eine Eigenschaft der kolloiden zersetzten Silikate, er glaubt, daß „je fetter (schwerer) der Ton ist, desto mehr kolloides Silikat enthält er,“[6]) und denkt sonst, daß Näheres hierüber uns noch voll-

[1]) M. Whitney, Amer. Journ. Agr. Science **7**, 85 (1893).
[2]) A. D. Hall, The Soil (London 1908) 37—39.
[3]) E. W. Hilgard, Soils (Neuyork 1907) 59 ff. Hilgard hat seine Anschauungen auch schon erheblich früher als in diesem Buch mitgeteilt.
[4]) R. Warington, Lectures physic. properties soil (Oxford 1900) 25.
[5]) H. A. Segers ges. Schriften, herausgeg. v. H. Hecht u. E. Cramer (1896) 56.
[6]) J. M. van Bemmelen, Landw. Versuchsstat. **37**, 356 (1890).

ständig entgehe.[1]) In gleicher Weise meint A. S. Cushmann[2]) den Grund für die Bildsamkeit im Auftreten von Kolloiden anorganischer Art, das durch die weitgehende Zerkleinerung des Materials bedingt ist, finden zu müssen, und P. Rohland[3]) hat bereits vor ihm, ohne viel auf das Moment der Zerkleinerung einzugehen,[4]) die Bildsamkeit dem Entstehen von Kolloidstoffen in den Tonen bei Berührung mit Wasser zugeschrieben, die teils organischer, teils anorganischer Natur sind und denen ihrerseits die Eigenschaft der Bildsamkeit zukommt, was ja allerdings keine Erklärung der Bildsamkeit selbst wäre. Die Bedeutung der „organischen, schleimigen" Bestandteile des Tons, die er bis auf 15% veranschlagt[5]) — etwa Glühverlust? —, scheint Rohland aber bei weitem überschätzt zu haben.[6]) N. B. Davis glaubt, neben Gelen der Kieselsäure, Tonerde, des Eisenoxyds, verschiedener Silikate und organischer Stoffe auch auf die adsorbierten Salze, sowie Form und Größe der körnigen Bestandteile Rücksicht nehmen zu sollen, wenn er die Bildsamkeit des Tones erklärt.[7]) Auch H. E. Ashley meint, einem Überzug der vorhandenen Körnchen und Teilchen durch Kolloidstoffe die Bildsamkeit der Tone zuschreiben zu müssen.[8]) Ähnlich erscheinen die Anschauungen von K. Endell,[9]) während auch R. Lucas[10]) vielleicht hier genannt werden kann, der die Knetbarkeit dem Gehalt an quellbarer Substanz zuschreibt, ohne näher darauf einzugehen, ob die Tonsubstanz selbst oder Beimengungen zu ihr hierfür maßgeblich sind. H. Rodewald muß auf Grund rechnerischer Überlegungen die Tonsubstanz selbst als quellbar ansehen, dürfte aber nicht ganz ausreichend über die Th. Schlösingschen Untersuchungen unterrichtet sein.[11]) Auch F. Förster[12]) hat auf die kolloiden

---

[1]) Derselbe, Arch. Néerland. scienc. exactes naturelles (2) **10**, 253 (1905).

[2]) A. S. Cushmann, U. S. Dept. Agricult., Bur. Chemistry, Bull. **92** (1905).

[3]) P. Rohland, van Bemmelen-Gedenkboek (Helder 1910) 27, wo noch frühere Literatur Rohlands zitiert wird. Auch häufige Mitteilungen in Koll. Zeitschr., z. B. **17**, 145 (1915), und an anderen Orten.

[4]) Vgl. allerdings R. Abeggs Handbuch d. anorgan. Chemie **3**. Abt. 1, 98—100 (1906).

[5]) P. Rohland, Zeitschr. anorg. Chem. **31**, 158 (1902).

[6]) P. Ehrenberg, C. Diebel, H. Veckenstedt, Zeitschr. analyt. Chem. **51**, 417 (1912).

[7]) N. B. Davis, Bull. Amer. Min. Eng. (1915) 301.

[8]) H. E. Ashley, Dept. Interior U. S. Geol. Survey, Bull. **388**, 7 (1909).

[9]) K. Endell, Neues Jahrb. Mineral., Beilageband **31**, Sonderdr. (1910) 38 ff.

[10]) R. Lucas, Zentralbl. Mineral., Geol. u. Paläont. (1906) 533.

[11]) H. Rodewald, Fühlings landw. Ztg. **57**, 455 (1908). Vgl. auch unten 137, Anm. 4.

[12]) F. Förster, Chem. Ind. **28**, 733 (1905).

Eigenschaften des Tons hingewiesen und dieselben zur Erklärung mancher der eigentümlichen Erscheinungen an demselben herangezogen, wie nach ihm viele Schriftsteller, die sich besonders mit dem Problem der Verflüssigung des Tons in der Keramik beschäftigten.

Die ganze, soeben erwähnte Gruppe von Forschern nimmt im wesentlichen die sehr weitgehende Zerteilung des Stoffes und, was ja eigentlich nur eine Folge hiervon ist, das Vorhandensein von kolloiden Stoffen als eigentlichen Grund für das Auftreten der Bildsamkeit an. Wie man sieht, deckt sich dies in weiten Umrissen mit den bislang auch von mir zur Erklärung der Eigenschaften der Tone ausgeführten Anschauungen, die letzten Endes auf Th. Schlösing d. Ä. zurückgehen.

Wenn aber trotzdem auch heute noch wenigstens dreierlei andere Erklärungsversuche für die Erscheinung der Bildsamkeit der Tone vorhanden sind, so müssen die oben erwähnten Ansichten wohl noch nicht ausreichen, um wirklich einleuchtende Erklärungen zu geben. Ich glaube, daß als Ursache hierfür wesentlich der Umstand zu erkennen ist, daß Th. Schlösing d. Ä. selbst bei seinen Untersuchungen noch nicht die heutigen Anschauungen und Erfahrungen der modernen Kolloidchemie zur Erklärung heranziehen konnte, daß aber auf der andern Seite die neueren Forscher auf dem gleichen Gebiet leider wieder zumeist den älteren Untersuchungen und besonders denen Th. Schlösing d. Ä. nicht genügend Beachtung geschenkt haben.[1]) — Doch zunächst einiges über die sonstigen Erklärungen für die Bildsamkeit der Tone.

Die Ansicht, daß die schuppige Beschaffenheit der einzelnen Tonteilchen für die Bildsamkeit maßgebend sei, besonders von A. Atterberg,[2])

[1]) Abgesehen von neuester Zeit und der Erwähnung bei W. R. Williams und E. W. Hilgard dürfte in deutscher Literatur Th. Schlösings Theorie des Kolloidtons nur bei K. Kraut, Journ. Landw. **31**, 119 (1883), genügend beachtet worden sein. Eine Dissertation von Sh. Kasai (München 1896), in der „klargelegt wird, daß die von Th. Schlösing d. Ä. vorgebrachten Beweise nicht stichhaltig sind", hat weder Schlösings Versuche überhaupt nachgeprüft, noch kann ihr sonst Beweiskraft gegen Th. Schlösing d. Ä. zuerkannt werden, obwohl H. Rösler — Inauguraldissertation (München 1902) 247 — sich Kasai anschloß. Auch E. Ramann scheint früher im Irrtum über die Grundlagen der Schlösingschen Forschungen befangen gewesen zu sein, Forsch. Geb. Agrikulturphysik **11**, 300 (1888).

[2]) A. Atterberg, Zeitschr. angew. Chem. **24**, 928 (1911). Auch A. Atterbergs neuere Mitteilungen, die sich in mancher Hinsicht schon der Ansicht von der Bedeutung des Kolloidtons nähern — Internat. Mittlg. Bodenk. **3**, 302, 326 (1913) — vermögen meiner Ansicht nach aus verschiedenen Gründen den Beweis für die Bedeutung einer „schuppigen" Struktur nicht zu erbringen; vgl. a. a. O. 307 ff.

G. Vogt[1]) wie von H. Le Chatelier,[2]) wohl auch von E. Ramann,[3]) Sh. Kasai[4]) und H. Rösler[5]) vertreten,[6]) ist, wie ich bereits zeigen konnte,[7]) mit den Untersuchungen einer ganzen Reihe von anderen Forschern nicht zu vereinigen.[8]) Auch sind die als Beweis angeführten Ansichten und Beobachtungen teilweise in sich selbst widerspruchsvoll.[9]) Leppla, der auch hier zu nennen ist, hat wenigstens die Bedeutung der geringen Größe der Teilchen nicht übersehen.[10])

C. Bischof und besonders J. Aron[11]) bauen ihre Theorie auf der Annahme auf, daß die Tonteilchen kugelige Gestalt besitzen und bei größerer Anhäufung fischrogenartigen Charakter zeigen. Da J. Aron diese Beobachtungen bereits bei 760facher Vergrößerung machte, würde damit die Ansicht von kolloider Beschaffenheit des Tons oder wenigstens einzelner Bestandteile desselben erledigt sein; denn als typisches Kolloid können wir keineswegs eine schon bei verhältnismäßig geringer Vergrößerung durch ein gewöhnliches Mikroskop auflösbare Flüssigkeit bzw. feste Masse ansehen. Da aber J. Aron für die Gewinnung seiner reinen Tonsubstanz den E. Schoeneschen Schlämmapparat benutzte, so ist es höchst wahrscheinlich, daß er unter seinem Mikroskop feinste Sande der Tone erblickte, wie dies E. W. Hilgard ähnlich erging. Dieser sah bei 300facher Ver-

[1]) G. Vogt, Bull. Soc. d'encouragement (1897) 638. Ebenso E. Cramer und H. Hecht, nach Muspratts Chemie, 4. Aufl. **7**, 1238 (1898).

[2]) H. Le Chatelier, Gedenkboek van Bemmelen (Helder 1910) 166.

[3]) E. Ramann, Bodenkunde, 2. Auf. (Berlin 1898); 3. Aufl. (Berlin 1911) 298, nur für Kaolin gesagt.

[4]) Sh. Kasai, Inauguraldissertation (München 1896) 20.

[5]) H. Rösler, Inauguraldissertation (München 1902) 252.

[6]) Auch E. Orton, vgl. Keram. Zeitschr. **9**, 446 (1901), neigt ihr in gewissem Umfange zu.

[7]) P. Ehrenberg, Zeitschr. angew. Chem. **24**, 1957 (1911). Die a. a. O. von H. Le Chatelier beigebrachten Gründe vermögen meiner Ansicht nach die A. Atterbergsche Theorie nicht zu stärken.

[8]) Wie Th. Schlösing d. Ä. und Biedermann u. Herzfeld — Notizblatt (1878), zit. n. C. Bischof, siehe unten Anm. 11 — bringt übrigens auch J. M. van Bemmelen Angaben, die gegen A. Atterbergs Ansicht sprechen. Vgl. Die Absorption (Dresden 1910) 114, Anmerk. Ebenso H. Puchner, Intern. Mittlg. Bodenk. **3**, 210/11 (1913).

[9]) H. Rösler, a. a. O. z. B. 253.

[10]) Leppla, Zeitschr. Baumaterialkunde **9**, 124 (1904).

[11]) Nach Br. Kerl, Handbuch ges. Tonwarenindustrie, 3. Aufl., bearbeitet von E. Cramer und H. Hecht (1907) 46. Die eigentlichen Arbeiten sind: C. Bischof, Die feuerfesten Tone (Leipzig 1876) 4; J. Aron, Notizblatt deutsch. Vereins Fabrikat. Ziegeln, Tonw., Kalk u. Zement, **6**, 112, 167, (1873). Zu J. Aron vgl. aber Biedermann u. Herzfeld, zit. nach C. Bischof, a. a. O. 3 u. 21.

größerung in seinem Kolloidton eine „Punktiertheit", was bereits W. R. Williams hervorhob und erklärte, und was auch mit den großen Mengen des von E. W. Hilgard gefundenen Kolloidtons übereinstimmt.[1]) Indes hiermit ist die erwähnte Theorie noch nicht erledigt; denn ein so genauer Beobachter wie W. R. Williams, der auf das sorgfältigste die Vorschriften Th. Schlösings d. Ä. für die Herstellung des Kolloidtons beobachtet hat,[2]) will gleichfalls bei 7—800facher lin. Vergrößerung im Gesichtsfelde ein Gedränge winziger Kügelchen beobachtet haben, über die er dann weitere Mitteilungen macht.[3]) Aber eine Bemerkung W. R. Williams' gibt die Erklärung und zeigt die Unhaltbarkeit seiner Ansichten über ovale oder elliptische Form der Tonteile bei 0,001 mm Durchmesser. Er hat nicht die kolloide Lösung des eigentlichen Tons, wie man sie nach Th. Schlösing d. Ä. erhält, beobachtet, sondern ihren durch Erwärmung zusammengeballten, niedergeschlagenen Bodensatz.[4]) Kein Wunder, daß er dann schon mit stärkeren Vergrößerungen eines gewöhnlichen Mikroskops kugel- oder eiförmige Teilchen beobachten konnte. Damit werden wir auch die Bischof-Aron-Williamssche Theorie der Tonzusammensetzung verlassen können, da die für sie versuchten Beweise unzulänglich oder mißlungen erscheinen. Vielleicht sei noch zur Beurteilung mit Nutzen erwähnt, daß E. C. J. Mohr bereits für die Bestandteile einer Abschlämmung, deren Durchmesser zwischen $^1/_2$—2 μ lag, bei starker Vergrößerung (1200 ×) nur selten Teilchen mit deutlichen Umrissen unterscheiden konnte.[5]) Hinter dieser Gruppe der Körnchen stehen dann aber noch erheblich kleinere. —

Wir wenden uns zur dritten Ansicht über die Gründe für Bildsamkeit und sonstige Eigenschaften des Tons, die von M. Rosenow[6]) vertreten wird, der dabei ältere Ansichten von W. Olschewsky[7]) wieder vorbringt. Dieser wollte die Bildsamkeit beim Kneten durch das Eintreten einer Art von Verfilzung erklären. Leider geht M. Rosenow von der Ansicht aus, daß in den Tonen mineralische Kolloide nicht nachgewiesen seien,[8]) hat also die Arbeiten von Th. Schlösing d. Ä., obwohl er diesen Forscher er-

[1]) E. W. Hilgard, Forsch. Geb. Agrikulturphysik **18**, 249 (1895).
[2]) W. R. Williams, Forsch. Geb. Agrikulturphysik **18**, 246—247 (1895).
[3]) Ebendort 250.
[4]) Ebendort 249.
[5]) E. C. J. Mohr, Bull. départ. agric. Indes Néerland **41**, Geol. agron. **8**, 17 (1910).
[6]) M. Rosenow, Dissertation (Hannover 1911) 41.
[7]) W. Olschewsky, Deutsch. Töpf.- u. Ziegler-Ztg. (1880), 325.
[8]) M. Rosenow, a. a. O. 42.

wähnt, kaum ausreichend kennen gelernt. Seine Anschauung kann um so auffallender erscheinen, als er selbst an anderer Stelle seiner Arbeit in den Tonen „die Tonsubstanz nur zu ganz geringen Prozentsätzen in der Größe der Submikronen (<250 $\mu\mu$) vertreten" glaubt.[1]) Tonsubstanz in Submikronengröße [2]) kann doch wohl kaum etwas anderes sein, als ein mineralisches Kolloid, und die „geringen Prozentsätze" würden sich durchaus mit den Ansichten Th. Schlösings d. Ä. decken. — Doch M. Rosenow glaubt jedenfalls voraussetzen zu sollen, daß die Tonteilchen porös sind und meint, dies bei Annahme gleicher Teilchengröße für die Ton- wie für die Quarzteilchen durch die Art der Entstehung der Tonsubstanz infolge Zersetzung des Feldspats erklären zu können. Daß, wie schon B. Zschocke[3]) betonte, diese Poren unter dem Mikroskop nicht zu sehen sind, erklärt er durch deren geringe, die Sichtbarkeitsgrenze im Mikroskop noch nicht erreichende Größe. Aus einer solchen Porosität, aus einer Bildung der Tonteilchen nach Art „von mit Wasser erfüllten Schwämmchen mit ungemein dünnen, biegsamen und wenig widerstandsfähigen Wänden",[4]) müßte M. Rosenow dann auch die Zunahme der Bildsamkeit vieler Mineralien durch Mahlen, die wohl ausreichend bewiesen ist,[5]) das Zusammenkleben trocknenden Tons, seine Verflüssigung durch Zusatz von Alkalilösungen [6]) und endlich die oben wiedergegebenen Beobachtungen[7]) über chemische Zusammensetzung und Größenverhältnisse feinster Bodenteile erklären können. Daß ihm dies aber gelingen sollte, will mir nicht recht einleuchten, ebensowenig wie die notwendige Folgerung, daß dann auch etwa für bildsames Bariumsulfat [8]) eine poröse, schwämmchenartige Struktur angenommen werden müßte.

So könnten diese drei Theorien für die Knetbarkeit des Tons sämtlich mit einiger Berechtigung abgelehnt werden. G. Keppeler hat inzwischen die früher von ihm gebilligte Anschauung M. Rosenows,

[1]) M. Rosenow, a. a. O. 46.

[2]) Nach H. Siedentopf und R. Zsigmondy die Größe der ultramikroskopisch sichtbar zu machenden Teile. Vgl. R. Zsigmondy, Erkenntnis d. Kolloide (Jena 1905) 87.

[3]) B. Zschocke, Bull. Société d'encouragem **103**, 619 (1902).

[4]) M. Rosenow. a. a. O. 49.

[5]) Vgl. oben weiter A. S. Cushmann, U. S. Dept. Agric., Bur. Chem., Bull. **92** (1905).

[6]) Die bereits auch W. Durham, außer den bereits genannten Forschern, an der Hand von Versuchen klarstellte. Chem. News **30**, 57 (1874); **37**, 47 (1878).

[7]) Oben, 2 und 3, sowie besonders 92/93.

[8]) A. Atterberg, Zeitschr. angew. Chem. **24**, 928 (1911); auch E. Feilmann, Transact. Faraday Society **4**, (1909).

die ja auf W. Olschewsky zurückging, wieder aufgegeben.[1] Er nähert sich jetzt in mancher Hinsicht den Anschauungen, die ich hier vertrete, insofern er der weitgehenden mechanischen Zerkleinerung Bedeutung zuschreibt. Daneben hält er die Weichheit und Nachgiebigkeit der Einzelteilchen für wichtig.[2] Eine vierte Meinung, die in Anlehnung an C. Mène[3] die Ansicht vertritt, die Tone seien einheitliche chemische Verbindungen, dagegen ihre Erklärung als Gemenge von Quarz, Feldspat und der sog. Tonsubstanz zweifellos irrtümlich, sei hier nur ihrer Eigenart halber erwähnt. Sie ist von W. und D. Asch aufgestellt worden,[4] und erklärt das Konstitutionswasser als die Ursache der Bildsamkeit.[5] H. Kaul endlich sah in dem Vorhandensein von Glaukonit oder Zeolithen im Ton den Grund derselben,[6] wogegen Ansichten von K. D. Glinka[7] sprechen.

Soweit diese meiner Meinung nach unrichtigen Erklärungsversuche. — Es wird nun aber erforderlich sein, die von mir als Grundlage für die Betrachtung der Tone gegebenen Ansichten noch weiter auszubauen, wenn sie hier genügen sollen.

Wir hatten als Erklärung für die Beschaffenheit des Tons bislang nur angenommen, daß er aus feinen bis feinsten Sanden besteht, die — in den feinsten Körnungen vielfach unstetig — in den eigentliche Kolloidbeschaffenheit zeigenden Kolloidton übergehen, der sie zusammenhält.[8] Dieser, wie überhaupt die ihm nahestehenden feinsten Teilchen, weist auch chemisch mehr die Zusammensetzung eines Aluminiumsilikates auf und ist jedenfalls ärmer an Kieselsäure als die feinen Sandgruppen.

Die Art, wie die geringe Menge Kolloidton mit den übrigen feineren und feinsten Teilchen vermischt ist, wurde bereits durch Th. Schlösing d. Ä. dargelegt, der feststellte, daß der zusammengeballte Kolloid-

[1] G. Keppeler, Sprechsaal **46**, Nr. 30 (1913).

[2] Derselbe, Bericht 35. Hauptversamml. Verband. Keram. Gewerbe Deutschl. (1912) 69/70.

[3] C. Mène, Bull. société industr. Mulhouse, Aprilheft (1863); Dinglers polytechn. Journ. **170**, 47 (1863).

[4] D. und W. Asch, Die Silikate (Berlin 1911) 107, 111. Im Namenverzeichnis dieses Buches finden sich weder die Namen Th. Schlösing d. Ä. noch J. M. van Bemmelen!

[5] Vgl. hierzu auch noch die Ansichten von E. Orton, Keramische Rundschau **9**, 446 (1901).

[6] H. Kaul, Tonindustrie-Ztg. **25**, 1115, 1561 (1901).

[7] K. D. Glinka, Mémoires Instit. agron. forest. Nowo-Alexandria **12**, 41 (1899); Zentralbl. Mineral., Geol. u. Paläont. **1**, 98 (1901).

[8] Ähnliche Ansichten auch bei J. Dumont, Compt. rend. **153**, 891 (1911).

ton die Sandteilchen umhüllt, während er durch Mittel, die im Gegensatz zu den zusammenballenden auf ein derartiges Kolloid verteilend wirken, — wie das von Th. Schlösing d. Ä. bei seiner Herstellung des Kolloidtons benutzte Ammoniak[1]) — zum größeren Teil davon gelöst und im Wasser verteilt wird.[2]) Eine völlige Trennung der Sandteilchen von den sie umhüllenden Schichten von Kolloidton wird dabei wohl kaum erfolgen, jedenfalls nur unter großen Schwierigkeiten, was einmal dazu Anlaß geben muß, daß etwas weniger Kolloidton nach Th. Schlösing d. Ä. gefunden wird, als wirklich vorhanden und weiter den von der Hauptmenge des Kolloidtons getrennten Sanden immer noch eine gewisse Ähnlichkeit mit den Eigenschaften des Tons bewahren wird.[3]) Jedenfalls müssen wir für nicht weiter behandelten Ton annehmen, daß die feinen und feinsten Sande eine Hülle von Kolloidton tragen, eine Ansicht, die augenscheinlich zum Teil ohne eingehende Kenntnis der Th. Schlösingschen Arbeiten von K. Endell[4]) und H. E. Ashley[5]) in jüngster Zeit nochmals vorgetragen wurde.

Daß sich solche Hülle bildet, ist übrigens durch Versuche von W. R. Williams[6]) erwiesen und liegt auch beim Vergleich mit Färbungsvorgängen wie überhaupt mit den ganzen Adsorptionserscheinungen nahe.[7]) Sie gibt nicht nur eine durchaus einleuchtende Erklärung für das Zusammentrocknen der Tone zu festen Massen, da sie eben als Kitt wirkt, sondern auch für die Bildsamkeit.

Betrachten wir zunächst die Verhältnisse bei sehr feinem, reinen Quarzsand. Diese an sich nicht bildsame, unknetbare Masse erhält durch Befeuchtung mit Wasser einen gewissen Zusammenhalt, der sich zum Beispiel dadurch zeigt, daß trockener, feiner Sand, in den man beim

[1]) Besser gesagt: wie die Hydroxylionen, soweit ihnen nicht stark zusammenballend wirkende, mehrwertige Ionen zugesellt sind.

[2]) A. Mitscherlich scheint diese Feststellungen nicht gekannt zu haben, als er annahm, daß wir kolloide Bodenbestandteile von nicht-kolloiden zu trennen außerstande seien. Bodenkunde, 2. Aufl. (1913) 57.

[3]) W. R. Williams hat wichtige Untersuchungen über die bei der Trennung nach Th. Schlösing d. Ä. noch am Sand haften bleibenden Mengen Kolloidton beigebracht. Vgl. Forsch. Geb. Agrikulturphysik **18**, 263 (1895). Th. Schlösing d. Ä. selbst stellte fest, daß abgetrennter Sand noch sehr schwache Kohäsion aufwies. E. Frémy, Encyclop. chim. **10**, 67 (Paris 1885). Vgl. auch R. Warington, a. a. O. 15.

[4]) K. Endell, Sprechsaal **43**, 291 (1910).

[5]) H. E. Ashley, Dept. Int. U. S. Geol. Survey, Bull. **388** (1909).

[6]) W. R. Williams, a. a. O. 263.

[7]) Man vergleiche auch J. Thoulet, Compt. rend. **130**, 1639; **131**, 631 (1900), über Aufnahme von aufgeschwemmtem Ton durch die Oberfläche poröser Körper.

Gehen bis zum Knöchel einsinkt, nach einem ausgiebigen Regen vorübergehend eine viel größere Festigkeit erhält. Auch ist ja bekannt, daß man trocken völlig auseinanderstäubenden Sand in Figuren formen kann, wenn er naß ist. Man denke an das bekannte Kinderspiel der Sandkuchen.

Wie kommt das zustande? Nehmen wir an, daß zwei Sandkörnchen trocken nebeneinander liegen (Abb. 8a) und befeuchtet werden. Jedes umgibt sich dabei mit einer Wasserhülle (Abb. 8b). Bei der nahen Lage der Körnchen grenzen diese Hüllen aneinander und berühren sich. Da nun jede Wasseroberfläche das Bestreben hat, sich soweit wie möglich zu verkleinern,[1]) so werden die Wasserhüllen danach streben, soweit wie möglich zusammenzufließen und dabei die Sandkörnchen aneinanderzupressen suchen. Es kommt demnach eine engere Aneinanderlagerung derselben zustande, und beide bilden so, von Wasser umhüllt, gewissermaßen nur noch ein Korn (Abb. 8c). Sie haften, durch den Wassermantel aneinandergepreßt, nun mit einer gewissen Kraft aneinander, eine Tatsache, die jeder mit zwei befeuchteten Sandkörnchen sich vor Augen führen kann.[2]) Haben wir nun eine ganze Sandmasse, so wird sich derselbe Vorgang zeigen, aber die benutzte Wassermenge wird dann noch eine stärker hervortretende Rolle spielen: Nehmen wir zu wenig Wasser, so vermag sich nur ein Teil des Sandes so weit zu befeuchten, daß es zu einem Zusammenhalten seiner Körnchen kommt. Nehmen wir zu viel, so wird jedenfalls der unten befindliche Teil des Sandes, nach dem die Schwerkraft das von den Körnchen nicht an ihnen festgehaltene Wasser hinabzuziehen strebt, nicht mehr nur um die einzelnen Körnchen Feuchtigkeitsschichten tragen, sondern völlig im Wasser liegen. Es muß also ein bestimmter Wassergehalt, voraussichtlich der, bei welchem jedes einzelne Körnchen eine Wasserhülle von bestimmter Dicke trägt, dem Aneinanderhaften einer Sandmasse am förderlichsten sein.[3])

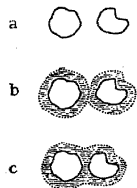



Abb. 8.

Je kleiner nun die Sandkörnchen sind, die in Frage kommen, um so stärker wird die Oberflächenspannung der sie umhüllenden Wasser-

[1]) Infolge der in ihr tätigen Oberflächenspannung; man denke an die Bildung von Kugeln, der Körperform mit kleinstmöglicher Oberfläche, wenn Wasser in kleinen Mengen in Öl geschüttelt wird, oder umgekehrt Öl in Wasser.

[2]) Vgl. auch weiter unten 277.

[3]) Untersuchungen, die solche Anschauungen bestätigen, bei W. Spring. Vgl. weiter E. W. Hilgard, Forsch. Geb. Agrikulturphys. 2, 441 (1879). Auch unten, 276 Anm. 3.

schicht,[1]) und um so größer daher auch die Kraft sein, die sie zusammenzwingt. Feinere Sande müssen demnach stärker zusammenhaften, wenn sie befeuchtet sind, und auch erheblich weitergehende Formbarkeit aufweisen. Das entspricht ja auch den bekannten und oben erwähnten Beobachtungen.[2])

Wird aber ganz außerordentlich feiner, künstlich hergestellter Quarzstaub[3]) aus Wasser abgesetzt, so bildet sich eine fest erscheinende, zusammenhängende Masse. Sie besitzt durchaus keine Knetbarkeit, sondern zerfließt bei einem derartigen Versuch, ebenso wie bei leisem Rütteln.[4]) Ganz ebendiese Beobachtung, die kürzlich hervorgehoben wurde, machte schon vor langen Jahren W. Schumacher.[5]) Wahrscheinlich wird hierbei eine engere Zusammenlagerung der Teilchen erzielt, die dann ausreicht, um aus ihnen mit dem vorhandenen Wasser eine Aufschwemmung mit viel fester Substanz und wenig Flüssigkeit zu bilden. Ähnliche Beobachtungen, daß durch Bewegung ein vorher fest erscheinendes Gemenge von Bodenteilen und Wasser die Eigenschaften einer Flüssigkeit annimmt, sind bei manchen Bergrutschen gemacht worden.[6]) Dabei erscheint die von E. C. J. Mohr wohl zum erstenmal hervorgehobene ruckweise Bewegung solcher Massen, die mit Aussonderung jeweils der gröbsten Bestandteile verbunden zu sein scheint, für die hier besprochenen Verhältnisse besonders wichtig.[7])

Will man diese auch von E. Orton hervorgehobene[8]) Erscheinung gänzlich mangelnder Knetbarkeit so feiner Quarzteilchen, die wohl noch

[1]) L. Michaelis, Dynamik der Oberflächen (Dresden 1909) 80.

[2]) Vgl. auch J. R. von Lorenz-Liburnau, Geolog. Verhältn. v. Grund u. Boden (Berlin 1883) 183.

[3]) Es handelt sich hierbei wohl, da das fragliche Material ein Mahlprodukt und nicht natürlich entstanden war, um Teilchen besonders gearteter Gestalt, vielleicht Splitter. Vgl. M. Rosenow, a. a. O. 26; G. Keppeler, Ber. 35. Hauptversamml. Verband. Keram. Gewerb. Deutschl. (Bonn 1912) 66.

[4]) M. Rosenow, Dissertation (Hannover 1911) 48.

[5]) W. Schumacher, Der Ackerbau (Wien 1874) 18.

[6]) A. Helland, Norges geolog. Undersögelse (Kristiania 1894) 122: „Wenn man in dieser zähflüssigen Masse rührt, wird man beobachten, daß dieselbe, selbst ohne weiteren Wasserzusatz, dünnflüssig wird ... Nach dem Anfang des Ausgleitens ist der wasserhaltende Boden durch die Bewegung selbst mehr und mehr flüssig geworden." Vgl. noch E. Ramann, Bodenkunde, 3. Aufl. (Berlin 1911) 111.

[7]) E. C. J. Mohr, Bull. départem. agric. Indes Néerland **47**, Géolog. agron. **9**, 40/41 (1911).

[8]) E. Orton, Keram. Rundschau **9**, 446 (1901).

nähere Durcharbeitung verdiente,[1]) hier einreihen, ohne als Erklärung etwaige Besonderheiten der Form der Teilchen, des noch zu großen Wassergehalts oder irgendwelcher Verunreinigungen durch chemisch wirkende Stoffe heranzuziehen, so muß man wohl annehmen, daß die natürlich vorkommenden Sande immer noch durch Spuren von Kolloidton oder Humus [2]) besser zusammengehalten werden, als dies Wasser allein vermag.

Tritt nun der durch Th. Schlösing d. Ä. nachgewiesene Kolloidton zu der Wirkung des Wassers auf die Sande hinzu, so werden wir zwei Fälle zu unterscheiden haben. Entweder, er befindet sich im Zustande der Verteilung, im Solzustand, was durch geringe Alkalimengen, bzw durch deren Hydroxylionen, verursacht oder gefördert wird.[3]) Dann wird er wesentlich nur insoweit auf das durch das Wasser bedingte Zusammenhaften der Sandkörnchen wirken, als er dem Wasser eine größere innere Reibung, größere Zähigkeit erteilt haben kann, und auch wohl in geringem Umfange von den Körnchen adsorbiert, und so auf ihrer Oberfläche angesammelt wird. Ist ersteres der Fall, und es liegt dagegen meines Erachtens kein wesentlicher Grund vor, so wird das zähere Tonwassergemenge wieder eine gewisse Menge feinsten Sandes, der sonst zu Boden sinken müßte, aufgeschwemmt zu tragen vermögen und mit diesem zusammen eine dichtere Flüssigkeit darstellen, die bei erheblichem Steigen der Konzentration wohl noch allerlei auch gröbere Teile zu tragen vermag. Wir haben dann den Gießschlicker der Tonindustrie vor uns, der auch Magerungsteile nicht alsbald zu Boden sinken läßt. Aber Knetbarkeit besitzt dieser nicht, auch wenn er später durch Eintrocknen viel Wasser verloren hat[4]) und dann ohne den Alkalizusatz Knetbarkeit aufweisen würde. Der an der Oberfläche der Sandkörnchen adsorbierte Kolloidton wird in diesem Fall wegen seiner voraussichtlich geringen Menge, und besonders, weil er nicht ausgeflockt ist, und daher nicht nennenswert klebend wirkt, keine besondere Rolle zu spielen vermögen. — Wir werden später noch näher auf diese Wirkungen einzugehen haben.

Im anderen Falle ist der Kolloidton durch Wasserstoffionen, Kalziumionen oder anderweit, auch durch Frost,[5]) zusammengeballt.

[1]) M. Rosenow, a. a. O. 26 u. 47, aber auch 28 u. 33.

[2]) Vgl. später. Auch Humusgehalt kann eine gewisse Bildsamkeit bedingen.

[3]) So schon W. Durham, Chem. News **30**, 57 (1874); **37**, 47 (1878). Auch starke Schwefelsäure vermag nach diesem Forscher Ton fast ebenso lange wie Wasser in der Schwebe zu halten, nicht aber verdünnte.

[4]) H. A. Seger, Ges. Schriften, herausgeg. v. H. Hecht u. E. Cramer (Berlin 1896) 573.

[5]) R. Warington, a. a. O. 35.

Wir dürfen annehmen, daß er sich dabei um die Sandteilchen herumgelagert hat, wie ja häufige Beobachtungen lehren, daß diese in sehr vielen Fällen von einer Hülle toniger Substanz umkleidet gefunden werden.[1])

Wurden nun nur durch Wasser miteinander verbundene, feinste Sande gegeneinander bewegt, so konnte man sie zwar ballen und auch in beschränktem Maße formen, wobei auch noch ihre eigene Form eine gewisse Rolle spielen mag. Denn es liegt ohne weiteres auf der Hand, daß feine Sandteilchen von Kugelform eher durch die Oberflächenspannung eines sie umschließenden Wasserhäutchens zusammengehalten werden dürften, als solche von Splitter- und Zackenform, die sich kaum so leicht in größerer Zahl eng aneinander lagern dürften. Sobald aber die auf den befeuchteten Sand wirkenden Kräfte irgendwie die von seiner Korngröße abhängigen Oberflächenspannungen der die Körnchen einschließenden und miteinander verbindenden Wasserhüllen überschritten, mußte Trennung eintreten. Dabei muß infolge der sehr geringen Dehnungsfähigkeit des Wassers die Trennung gleich nach einer auch nur geringen Entfernung der Körnchen voneinander statthaben. Wir finden also für nur von Wasser zusammengehaltene Sande:

1. Trennung durch verhältnismäßig geringe Kraft, sobald sie zur Überwindung der Oberflächenspannung des Wassers bei stark gebogener Oberfläche, entsprechend der Kleinheit der Sandkörnchen, ausreicht.
2. Trennung bereits nach geringer Entfernung der in Betracht kommenden Körnchen voneinander.

Ist nun aber die Umhüllung zweier benachbarter feinster Sandkörnchen durch zusammengeballten, noch stark von Wasser getränkten Kolloidton gebildet, der ähnlich wie andere Tröpfchenkolloide[2]) — etwa

[1]) Th. B. Osborne, Ann. Rep. Connecticut Agric. Expert. Stat. (Neu-Haven 1888) 144. Ferner Th. Schlösing d. Ä., Compt. rend. **134**, 631 (1902); W. R. Williams, Forsch. Geb. Agrikulturphysik **18**, 263 (1895); E. W. Hilgard, Soils (Neuyork 1906) 61; H. E. Ashley, Dept. Int. U. S. Geolog. Survey, Bull. **388** (Washington 1909).

[2]) Als ein solches glaube ich den Kolloidton ansehen zu sollen. Daß aber erhebliche Zähigkeit und Widerstandsfähigkeit gegen Trennung sich auch bei einem Körnchenkolloid finden könnten, falls es sich um eine kolloide Lösung mit sehr hohem Gehalt an fester Phase handelt, hat M. Rosenow, Dissertation (Hannover 1911) 45 sehr gut dargelegt und an dem Beispiel kolloiden Wolframs erläutert. Freilich ist ja, wie oben erwähnt, der Begriff der Körnchen- und Tröpfchenkolloide überhaupt wissenschaftlich noch nicht gesichert.

Leim,[1]) Stärkekleister, Wasserglas — zäh ist,[2]) so kommen wir zu dem Fall, daß zunächst ganz andere und erheblich stärkere Kräfte erforderlich sein werden, um zwei durch eine Umhüllung von Kolloidton aneinander gefesselte Sandkörnchen zu trennen. Denken wir an zwei von einer Schicht flüssigen Leims umhüllte Körnchen gegenüber zwei anderen, die nur von Wasser umschlossen sind! Weiter aber wird eine Kraft, welche zur Auseinanderbewegung der von Kolloidton umhüllten zwei Körnchen genügt, diese nach geringer Entfernung voneinander doch noch nicht völlig trennen. Im Gegenteil wird, — wie wir dies auch vergleichen können, wenn wir je zwei größere Kugeln, ein Paar in Wasser und eins in flüssigen Leim getaucht, aneinander halten und nun langsam voneinander fortbewegen, — zwischen den beiden mit Kolloidton umhüllten Sandkörnchen ein sich allmählich verdünnender Faden des zähen, zusammengeballten Kolloidtons sich erhalten, der erst, nachdem die Körnchen eine ziemlich erhebliche Entfernung voneinander erreicht haben, abreißt.[3]) Wir finden also hier:

1. Trennung nur durch verhältnismäßig große Kraft, die zur Überwindung der Zähigkeit des zusammengeballten Kolloidtons und der Oberflächenspannung desselben für stark gekrümmte Flächen ausreicht.

2. Nur allmähliche Trennung infolge der Zähigkeit des Kolloidtons, die auch nach etwas größerer Entfernung noch eine Verbindung zwischen den Sandkörnchen bestehen läßt.

[1]) Nach E. W. Hilgard, Soils (Neuyork 1906) 61 ff. hat der Kolloidton mehr Ähnlichkeit mit Leim als mit dem Ton des täglichen Lebens. Wie Leim, doch noch schneller und haltbarer, haftet getrockneter Kolloidton an der Zunge, so daß er die Trennung schmerzhaft macht. Wenn er mit wenig Wasser befeuchtet ist, nimmt er eine hochbildsame und adhäsive Beschaffenheit an, so daß er schwierig zu handhaben ist und die Hände des Bearbeitenden fast wie Pech besudelt.

[2]) Wichtig ist natürlich für die Zähigkeit eines Tröpfchenkolloids der Gehalt an in der Flüssigkeit verteilter Substanz. Dieser wird bei zusammengeballtem Kolloidton recht groß sein. Nach H. Garret aber stieg die Zähigkeit von Kieselsäuresol ganz enorm bei stärkeren Zunahmen der Menge des in der Flüssigkeit verteilten Stoffes; z. B. nach der Garrettschen Dissertation (Heidelberg 1903) 51:

	Gehalt an Gramm im Liter	Zähigkeit in absoluten Einheiten
Kieselsäuresol . . .	8,12	0,012
	9,87	0,016
	19,56	0,032
	36,7	0,165

[3]) Eine in vieler Hinsicht entsprechende, zusammenhaftende Wirkung von Eisenhydroxydgel auf Ölkügelchen hat R. Ellis angenommen. Zeitschr. physik. Chem. **89**, 148 u. f. (1915).

Denken wir nun daran, daß in einem bildsamen Tonstück, wie wir es in feuchtem, schwerem Boden und noch deutlicher in einem „handgerechten" Stück Töpferton vor uns haben, ein kleinstes Sandkörnchen neben dem anderen liegen wird kleinste und kleine zu vielen Hunderttausenden und Millionen nebeneinander. Alle sind so durch äußerst feine Hüllen von Kolloidton aneinander geklebt, und wir erhalten für den Fall eines Trennungsversuches eine Unzahl von zähen Widerständen, die einer stärkeren Kraft nachgeben, ohne aber sogleich eine Trennung zustande kommen zu lassen, sondern unter Umständen es auch bei einer Dehnung bewenden lassen werden, zumal sich der Zug von den zunächst beanspruchten Stellen weiter auf andere übertragen wird.

Da man in neuester Zeit als Ausdruck für die Bildsamkeit des Tons dessen Zerreißfestigkeit und Dehnbarkeit[1]) verwendet,[2]) um so meßbare Größen zu haben, so mag hier darauf hingewiesen sein, daß die Th. Schlösingsche Annahme des Kolloidtons, wie ich sie weiter auszuführen suchte, eine einfache Erklärung dafür gibt, daß diese Werte mit zunehmender „Fettigkeit", d. h. mit zunehmender Menge von Kolloidton in einem Tone, steigen werden. Auch die oben erwähnte Tatsache, daß Zusatz anderer Kolloide, wie Leim, Humus und dergleichen, die Bildsamkeit von Sanden erhöht beziehungsweise erst ermöglicht, spricht für die hier vertretene Ansicht.

Die Zusammensetzung des Tons.

Wir sahen also, was bislang noch keiner von den Erklärungsversuchen für die Eigenschaften des Tons für sich in Anspruch nehmen konnte, daß bei weiterem Ausbau der Ansicht Th. Schlösings d. Ä. alle Eigenschaften des Tons eine zwanglose Erklärung finden: sein Zusammentrocknen zu einer festen Masse, seine Bildsamkeit, die Fähigkeit mit Alkali sich zu verflüssigen, sein Ankleben an anderen Stoffen, wie etwa an der Pflugschar und, wie wir später noch sehen werden, auch seine adsorptiven Eigenschaften. Aber auch die Tatsache, daß der gewöhnliche Ton sich zum wesentlichsten Teil in Sande von zunehmender Feinheit auflösen läßt und daß die Kolloidstoffe des Tons zwar leicht hypothetisch anzu-

[1]) So sei hier die „Deformationsfähigkeit" übersetzt.

[2]) In Anlehnung an A. Rejtö, Inn. Reibung fest. Körper, als Beitr. z. theoret. mechan. Technol., übers. C. Gaul, Leipzig; nähere Berichte darüber: Baumaterialienkunde **2**, 134, 231, 302 (1902), hat B. Zschocke, Bull. Société d'encouragem. (1902), und Mitteil. eidgen. Materialprüfungsanstalt, **11** (Zürich 1907), dann M. Rosenow, Dissertation (Hannover 1911) 5 u. 13 dies getan, und das Verfahren scheint weitere Ausdehnung zu gewinnen.

nehmen, aber schwer nachzuweisen und zu gewinnen sind, ebenso wie das Auftreten der Knetbarkeit bei einzelnen Mineralien nach längerem Mahlen und so manches andere dürften auf diesem Wege eine einleuchtende Lösung finden, ohne daß man nur mit der allgemeinen Annahme, es seien eben Kolloide im Ton vorhanden, die dies oder jenes bewirkten, sich abfinden lassen müßte. Denn Th. Schlösings d. Ä. Kolloidton ist von ihm,[1]) unabhängig davon ferner durch E. W. Hilgard,[2]) W. R. Williams[3]) und auch W. Brewer[4]) isoliert worden, wie oben schon bemerkt wurde. Weiter bekennt sich auch E. C. J. Mohr zum Glauben an sein Vorhandensein auf Grund experimenteller Erfahrungen.[5]) Endlich konnte ihn G. Given in meinem Institut herstellen und näher untersuchen.

Wir haben demnach Ursache, bei der oben aufgestellten Erklärung der Zusammensetzung des Tons zu bleiben, den wir als ein Gemisch feiner bis feinster Sande mit geringen Mengen von Kolloidton anzusehen hatten, in dem vom etwas gröberen Sand, der noch etwa in geringen Mengen vorhanden ist, bis zu den feinsten Sanden, und wieder von ihnen bis zum feinst zerteilten Kolloidton wahrscheinlich zumeist annähernd stetige Übergänge der Größe nach vorhanden sind, die allerdings in den feinsten Körnungen sprunghafte Unterschiede zeigen dürften.[6]) Die Möglichkeit der kolloiden Form des einen Bestandteils des Tons ist durch chemische Ursachen zu erklären, sei es nun, daß bei Erreichung einer gewissen weitgehenden Kleinheit der Einzelteilchen die Löslichkeiten einen starken und wechselnden Einfluß ausüben,[7]) sei es, daß unter den Verhältnissen im Boden überhaupt wesentlich nur gewisse Aluminiumsilikate[8]) in kolloider Form längere Zeit beständig sind.

---

[1]) Th. Schlösing d. Ä., E. Frémys Encyclop. chim. (Paris 1885) **10**, 67. Frühere Angaben in den Compt. rend.

[2]) E. W. Hilgard, Amer. Journ. Science Arts (3) **6**, 288 (1873); ferner zugänglicher in E. W. Hilgard, Soils (Neuyork 1906) 59.

[3]) W. R. Williams, Forsch. Geb. Agrikulturphysik **18**, 246 (1895).

[4]) W. Brewer, Amer. Journ. Science Arts (3) **29**, Nr. 1 (1885).

[5]) E. C. J. Mohr, Bull. départm. agric. Indes Néerland. **41**, Geol. agron. **8**, 18, 28 (1910).

[6]) P. Ehrenberg, E. Hahn und O. Nolte, Koll. Zeitschr. **21**, 1 (1917).

[7]) Kieselsäure wird vielleicht kristalloid gelöst, wenn die Sandteilchen eine gewisse Kleinheit erreichen und viel Wasser bei schwach alkalischer Reaktion vorhanden ist, wie im Erdboden. Wenigstens will H. Hermann, Chem. Ind. **30**, 83 (1907), mit seinem, wie er angibt, sehr empfindlichen Reagenz in Tonen keine kolloide Kieselsäure gefunden haben.

[8]) Es bleibe dahingestellt, ob es sich um chemische oder Adsorptionsverbindungen handelt oder ob beide Momente und auch etwa Lösungsvorgänge verschiedener Stoffe ineinander eine Rolle spielen.

Es sind demnach die verschiedenen, zum Teil ineinander übergehenden Größengruppen der Teilchen im Ton nicht von gleicher chemischer Zusammensetzung. Von der Menge des Kolloidtons, in zweiter Linie aber von der Feinheit der mit ihm vermischten und von ihm umhüllten Sande wird die „Schwere" des Bodens, die „Fettigkeit" des Tons abhängen.

Eine Tatsache, die mit der soeben festgestellten Zusammensetzung des Tons auf das beste übereinstimmt, ist die Erscheinung der Schichtenbildung in Tontrüben. Rührt man irgendeinen tonigen Boden mit destilliertem Wasser auf, bis er — nach Abhebern der sich etwa zuerst schnell klärenden Flüssigkeitsmengen — bei erneutem Aufrühren mit destilliertem Wasser längere Zeit in Aufschwemmung verharrt so bilden sich beim Absetzen seiner feinsten Bestandteile in der Flüssigkeit deutliche Schichten, bis endlich nach oben eine schwach opalisierende Flüssigkeit als letztes Glied in der Reihe folgt. E. W. Hilgard,[1]) sowie W. Brewer[2]) haben dieselben bereits wahrgenommen, und nahezu jeder mit Tonaufschwemmungen arbeitende Anfänger „entdeckt" sie aufs neue. Nach neueren Untersuchungen, die ich gemeinsam mit E. Hahn und O. Nolte durchführen konnte,[3]) ist mit großer Wahrscheinlichkeit anzunehmen, daß in weitaus erster Linie die verschiedene Größe und das verschiedene spezifische Gewicht der allerfeinsten Sandgruppen des Tons zur Schichtenbildung führen, indem sich die von anderen durch scharfe Unterschiede getrennten Teilchen gleicher Fallgeschwindigkeit auf ihrem Weg durch die Flüssigkeit zu bestimmten Schichten vereinigen.

Natürlich ist dies nur möglich, wenn durch Beseitigung ausflockend wirkender Elektrolyten die Vereinigung der Sandkörnchen mit Kolloidton, sowie untereinander — mit dessen und anderer Vereinigungsmittel Hilfe — beseitigt ist, und die Teilchen wenigstens zum überwiegenden Teile einzeln niederfallen können. Übrigens mag die Gestalt der Teilchen, wie deren elektrische Ladung eine, allerdings mehr zurücktretende Rolle spielen.

Das Altern des Tons.

Vielleicht ist noch kurz im Anschluß hieran ein gegen das Vorkommen, beziehungsweise die Bedeutung von Kolloiden im Ton vorgebrachter Einwand von M. Rosenow zu berücksichtigen. Zwar ist die beste Widerlegung in der durch die oben genannten Forscher[4])

[1]) E. W. Hilgard, Rep. Meth. of phys. a. chem. Soil Anal., nach C. Luedecke, Abh. hess. Geol. Landesanstalt 3, 168 (1899).

[2]) W. Brewer, Memoirs Nat. Acad. Scien. 2 (Washington 1884).

[3]) P. Ehrenberg, E. Hahn und O. Nolte, Koll.-Zeitschr. 21, 1 (1917).

[4]) Also Th. Schlösing d. Ä., E. W. Hilgard, W. R. Williams, W. Brewer, E. C. J. Mohr, P. Ehrenberg und G. Given.

beigebrachten Tatsache des experimentellen Nachweises gegeben. Doch ist gegen den Einwand, daß doch durch die Kolloiden zukommenden Alterserscheinungen etwa in den Tonen vorhandene Kolloide sicher im Lauf der Zeit ihre Eigenschaften eingebüßt haben müßten,[1]) daran zu erinnern, daß in geologischen Schichten alle Stufen vom höchst bildsamen Ton[2]) bis zum völlig versteinten Schiefer, der früher auch einmal Ton gewesen sein muß, vorkommen. Es gibt weiter Tonschiefersorten, die, zunächst steinartig, doch durch Zerkleinerung, Durchfrieren und Lagern im feuchten Zustande unter Umständen im Laufe von 10 und mehr Jahren wieder Bildsamkeit gewinnen.[3]) — Auf Grundlage der Untersuchungen W. Springs müssen wir wohl als wesentlichen Grund solchen „Versteinens" von Ton starken Druck annehmen,[4]) und zwar Gebirgsdruck, vielleicht im Verein mit erhöhter Temperatur.[5]) So gelang es H. Kaul, Pulver von Winkelhaider Rhätton durch Pressen bei 300 kg je qcm in schwach feuchtem Zustande das Schiefergefüge und die Festigkeit des natürlichen Vorkommens zu geben.[6]) Auch nimmt man an, daß die Dargtorfe, wie man die unter Ton liegenden Moorböden in Friesland nennt, durch Pressung ganz schieferig geworden sind.[7]) — Es würde daher ausreichen, ein Altern bei Ton als nur unter gewissen Bedingungen eintretend anzusehen, um M. Rosenows Einwand zu begegnen. Die auffälligsten Alterserscheinungen sind zudem bei Kolloiden zu beobachten, die durch „Abschreckung" eines ziemlich labilen Systems entstanden sind. Hier kann ein allmähliches Übergehen in einen anderen Zustand, ein „Altern", nicht sonderlich überraschen.[8]) Für unseren Kolloidton müssen wir jedoch mit einer ganz anderen Entstehungsart rechnen, abgesehen davon, daß wir es bei ihm wahrscheinlich

---

[1]) M. Rosenow, a. a. O. 40.

[2]) Z. B. im Untercambrium der baltischen Lande dem bildsamen „blauen" Ton, vgl. K. Andrée, Geolog. Rundsch. **2**, 126 (1911).

[3]) Br. Kerl, Handbuch der Tonwarenindustrie, herausgegeb. v. E. Cramer u. H. Hecht, 3. Aufl. (1907) 141; noch wichtiger G. Schübler, Unters. phys. chem. Eigensch. Ackererden, Schweigg. Journ. Chemie **37** (N. R. **7**) 42/43, 68/69 (1823).

[4]) W. Spring, Ann. Soc. Geol. Belg. **28**, Mémoires 121 (1900/01). Ähnlich W. Pukall, Koll.-Zeitschr. **18**, 241 (1916); vielleicht auch L. Milch, Geologische Rundschau **2**, 145 (1911). Auch unser Steinsalz dürfte sich wenigstens zum Teil zuerst als lockerer Salzsand ausgeschieden haben, um dann unter Kornvergrößerung usw. durch Druck fest zu werden. E. Zimmermann, Monatsber. deutsch. geol. Ges. **60**, 70 (1908).

[5]) K. Andrée, Geolog. Rundsch. **2**, 126/127 (1911).

[6]) H. Kaul, Geol. chem. Studien üb. d. Ton- u. Lehmvorkomm. um Nürnberg. Dissertat. Erlangen **66** (1900).

[7]) A. Mayer, Bodenkunde, 7. Aufl. **67** (1914); hier ist von „Derryböden" die Rede.

[8]) H. Freundlich, Kapillarchemie (Leipzig 1909) 389.

mit einem Tröpfchenkolloid zu tun haben. Bei dieser Art von Kolloiden kann schon die Gegenwart irgendwelcher Salze[1]) oder ähnliche Umstände sehr verschiedene Wirkungen auf die Beständigkeit ausüben.[2]) Neuerdings ist auch besonders darauf hingewiesen worden, daß bei den hydratisierten Metallhydroxyden und ähnlichen Kolloiden, neben die wir mit einer gewissen Berechtigung den Kolloidton stellen dürften, der Vorgang des Alterns weniger als eine fortschreitende Zusammenballung aufzufassen ist, wie bei vielen ausgesprochenen Körnchenkolloiden. Er stellt vielmehr eine fortgesetzte Verminderung der Hydratation dar.[3]) Diese kann durch verschiedene Bedingungen, z. B. durch niedere Temperatur, weitgehend gehemmt werden. Auch sind Untersuchungen über die Wirkung der Zeit auf das Verhalten von Kolloiden unter so eigenartigen Bedingungen,[4]) wie sie für den Kolloidton zum Teil im Laufe der Jahrtausende seit seiner Bildung vorgelegen haben, wohl noch in keiner Weise vorhanden. Endlich kommt hinzu, daß auch eine gewisse Neubildung von Kolloidton in lagernden Erdmassen durch die Verwitterung angenommen werden muß. Führt doch E. C. J. Mohr[5]) an, daß es Sandböden vulkanischen Ursprungs in den Tropen gibt, die in wenigen Jahren, ja Monaten, merkliche Mengen „Feinstes", d. i. Ton durch die Verwitterung liefern. — Daß H. Leitmeyers Feststellungen[6]) über die Umwandlung des Tonminerals Montmorillonit aus dem Gelzustande in ein Kristalloid nach Ablauf von drei Jahren eine größere Bedeutung für unsere Überlegungen besitzen, ist somit wohl zu bezweifeln.

Ton und Humus.

Ich würde indes einen wichtigen und für das Verständnis des Verhaltens des Tons bedeutungsvollen Umstand unbeachtet lassen, wenn ich nicht der Wirkung eines anderen Kolloidstoffes auf ihn gedächte, des Humus. Die Tatsache, daß die zum Teil wenigstens zweifellos kolloide

---

[1]) und anderer Elektrolyten.

[2]) H. Freundlich, a. a. O. 410.

[3]) A. Fernau u. W. Pauli, Koll.-Zeitschr. **20**, 30 (1917).

[4]) Viel disperse Phase und wenig Dispersionsmittel, mehr oder weniger koagulierter Zustand, Vermischung innigster Art mit kristalloiden Körpern (Sanden), ev. Abschluß der Luft, zum Teil Einwirkung von Schutzkolloiden organischer Art und chemisch wirksamen Stoffen. Was besonders den Zustand der Zusammenballung anbetrifft, so zeigten sich z. B. in ihm Zeroxydgallerten, die, wie oben gesagt, mit einer gewissen Berechtigung hier anzuführen sein dürften, als überaus stabil, und ließen auch nach sehr langer Zeit keine Verminderung ihrer Hydratation erkennen. Vgl. A. Fernau u. W. Pauli, Koll.-Zeitschr. **20**, 30 (1917).

[5]) E. C. J. Mohr, Bull. départ. agric. Indes Néerland. **41**, Geol. agron. (1910) 8.

[6]) H. Leitmeyer, Zeitschr. Krystallograph. **55**, 353 (1915).

Humussubstanz auf feine Sande Einflüsse auszuüben vermag, die das so erhaltene Gemisch in seinen Eigenschaften, wie Knetbarkeit u. dgl., an Ton immerhin annähern, dürfte zudem ein weiterer Beweis für die Richtigkeit des von mir zur Erklärung der Erscheinungen an Ton eingenommenen Standpunktes sein. G. Behrendt[1]) sagt zum Beispiel: „Es ist eigentümlich, ein wie geringer Humusgehalt bereits ausreicht, um den fast nur aus Sand beziehungsweise Staub bestehenden Boden in feuchtem Zustande so bündig beziehungsweise schmierig erscheinen zu lassen . . . Ein Humusgehalt von 2,5 % ist bei einigermaßen feinkörnigem Sand völlig hinreichend hierzu." [2]) Ähnliche Erfahrungen finden sich bei A. Frankau,[3]) und weiter hob bereits F. Senft hervor, daß Sand sich bei gebotener Gelegenheit mit Hüllen von Humus überzieht.[4]) Ganz besonders hat ja Th. Schlösing d. Ä. sich mit diesen Humushüllen beschäftigt, wobei sich zum Beispiel die Richtigkeit von Masures Angaben nachweisen ließ, daß solche an der Oberfläche der Teilchen festgehaltenen Stoffe weder durch Waschungen mit Wasser, noch mit verdünnten Säuren, oder durch Reibungen, die im Laufe mechanischer Trennungen veranlaßt werden, davon loszulösen sind.[5]) Es ergab sich im Zusammenhang hiermit für den Gehalt der Schlämmgruppen an organischen Teilen:

Schlämmgruppe	Fallzeit im Wasser	Boulogner Untergrund	Nauphler Untergrund
		enthielten an organ. Masse	
Grobsand	10 Sekunden	0,40 %	0,15 %
Feinsand	5 Minuten	0,60 %	0,18 %
sehr feiner Sand	1 Stunde	2,40 %	0,70 %
feinster Sand[6])	24 Stunden	7,84 %	7,12 %
Ton	in 24 Stunden nicht ausgefallen	5,46 %	4,14 %

[1]) G. Behrendt, Abhandl. geolog. Spezialkarte Preußen **2**, 51, Heft 3 (1877).

[2]) M. Rosenow gelang es allerdings nur in sehr unbedeutendem Maße — a. a. O. 48 — seinen feinst gemahlenen Quarz durch Humus bindiger zu machen. Es dürfte nicht geeignete Humussubstanz wie ein vielleicht nicht zweckmäßiges Verfahren angewandt worden sein.

[3]) Der Quarzsand und Kalksand nicht zu Kugeln zu formen vermochte, wohl aber humosen Sand. Vgl. Dissertation (Techn. Hochsch. München 1909) 6—9.

[4]) F. Senft, Steinschutt u. Erdboden (Berlin 1867) 318 u. 319.

[5]) Th. Schlösing d. Ä., Compt. rend. **135** 601 (1902).

[6]) Der feinste Sand ist nach Schlösing nicht ausreichend vom feinsten Humus bzw. Düngerteilchen zu trennen, was für die sämtlichen übrigen Gruppen möglich ist, daher ist diese Reihe nicht zu beachten.

Wir sehen also manche Ähnlichkeit mit dem Verhalten des Tons, worauf auch Th. Schlösing d. Ä. eingehend hinwies.[1])

Was aber die Wirkung von Humus auf Ton anbetrifft, so müssen wir berücksichtigen, daß wir es hierbei mit den Wirkungen eines Kolloids, das auch eine Säure darstellen dürfte, des Humus, auf ein anderes Kolloid, den Kolloidton, zu tun haben, und daß außerdem die große Menge feiner und feinster Sande, die der Ton enthält, noch dazu vorhanden ist. Sie werden freilich kaum eine erhebliche Rolle spielen, da wir annehmen müssen, daß sie in der Regel stärker oder schwächer von Kolloidton umhüllt sind.

Von den Einwirkungen von Kolloiden aufeinander sind als besonders auffällig die Schutzwirkungen und die gegenseitige Ausfällung bekannt, und wir werden zu überlegen haben, ob und wie sich beide bei der Wirkung von Kolloidton auf Humus und umgekehrt äußern.

Dabei liegt nun freilich die unerwünschte Tatsache vor, daß eingehende Versuche dieser Art mit rein hergestelltem Kolloidton noch durchaus fehlen.[2]) Wir können sonach nur über die Wirkungen des Gemenges von Kolloidton und feinen Sanden, das wir gewöhnlich als Ton bezeichnen, sprechen.

Von einer Schutzwirkung des Tons auf Humussubstanz ist nichts bekannt. Sie wäre auch deswegen unwahrscheinlich, weil Tonaufschwemmungen, die ja so sehr viel Sand enthalten, viel empfindlicher auf Zusätze von Elektrolyten reagieren als Humuslösungen.

Dagegen sind Schutzwirkungen von Humuslösungen auf Tonaufschwemmungen zweifellos nachgewiesen. Der erste, der hierüber Beobachtungen machte, war wieder Th. Schlösing d. Ä., dessen Angabe[3]) dann völlig in Vergessenheit geriet, so daß vor elf Jahren E. Fickendey[4]) mit ähnlichen Mitteilungen etwas vollständig Neues zu bringen glaubte, wobei er den üblichen Fehler, Kaolin und Ton gleichzusetzen, nicht vermied. Man darf aus diesem Grunde wohl einen Teil der Unter-

[1]) Derselbe, ebenda **74**, 1408 (1872).

[2]) Wenn man von den ersten Beobachtungen Th. Schlösings d. Ä. absieht. Das agrikulturchemische Institut der Universität Göttingen wird nach Möglichkeit diesem Mangel abzuhelfen suchen. Dahingehende Arbeiten sind des Krieges halber leider bislang nicht weiter gediehen.

[3]) Es verlohnt wohl, sie wörtlich zu geben: „La dose de chlorhydrate (d'ammoniaque) nécessaire pour coaguler l'argile varie selon la quantité d'humate en dissolution; il en faut jusqu'à 20 grammes, quand celui-ci est très abondant, ce qui démontre une fois de plus l'attraction que le colloide humique exerce sur le colloide minéral." Compt. rend. **78**, 1279 (1874).

[4]) E. Fickendey, Journ. Landw. **54**, 343 (1906).

schiede, die E. Fickendey zwischen dem Verhalten von Kaolinaufschwemmungen und solchen von natürlichem Ackerboden feststellte und als erster nach neuzeitlich-kolloidchemischen Anschauungen erklärte, noch auf die Wirkung der Verschiedenheit von Kaolin gegenüber dem Ton, bzw. hier dem tonigen Anteil des Ackerbodens, zurückführen. Indes wird das Wesentliche doch wohl die Schutzwirkung des Humus sein, die Th. Schlösing d. Ä. schon für seinen Kolloidton feststellte, und die ganz außerordentlich viel stärker in der Tongießerei hervortritt.

Den Vorgang der Schutzwirkung haben wir uns im Anschluß an die in der Einleitung wiedergegebenen theoretischen Anschauungen wohl so vorzustellen, daß einmal der Kolloidton selbst an seine ultramikroskopischen Teilchen Humuskolloid anlagert und sie derart „schützt". Weiter werden auch die mehr oder weniger von Tonkolloidschichten umkleideten Sandteilchen des Tons Humuskolloid adsorbieren und, derart umhüllt, sich gegen Fällungsmittel nun ähnlich verhalten, als wenn sie nur aus Humussubstanz beständen. Daß dies der Fall ist, zeigen unter anderem interessante Versuche A. Spangenbergs.[1] Die Schutzwirkung der Humussubstanz auf Tone ist nun eine doppelte. Zunächst tritt eine Aufteilung durch sie ein, die A. Spangenberg[2] zwar nicht an Ton, wohl aber an Kaolin durch Versuche festgestellt hat. Diese Aufteilung war in alkalischer Lösung stärker, aber auch ohne Gegenwart von Alkali vorhanden.[3] Man könnte nun einwenden, daß solche Aufteilung von Kaolin durch Humussubstanz noch nicht für eine ähnliche Erscheinung bei Einwirkung von Humussubstanz auf Ton beziehungsweise Tonkolloid beweisend sei. Indes würden die theoretischen Betrachtungen, mit denen A. Spangenberg seine Untersuchungen begleitet,[4] auch völlig auf Ton passen. Weiter hat aber schon F. G. Donnan[5] Ausführungen veröffentlicht, aus denen gefolgert werden muß, daß stark adsorbierte Stoffe die Tendenz haben, die von ihnen umhüllten Teilchen auseinanderzureißen. Bekannt ist

[1]) über Verhalten von Kaolin und Humussäure im elektrischen Spannungsgefälle, die wir, immer mit dem Vorbehalt, daß Kaolin und Ton nicht unerhebliche Unterschiede zeigen, hier gewiß zu Analogieschlüssen verwenden können. Dissertation (Darmstadt 1910) 34.

[2]) A. Spangenberg, a. a. O. 37.

[3]) Wenn nicht etwa der benutzte Kaolin in A. Spangenbergs Versuchen durch Hydrolyse auch ohne besonderen Zusatz von Alkali zum Wasser Hydroxylionen lieferte.

[4]) A. Spangenberg, a. a. O. 37.

[5]) F. G. Donnan, Zeitschr. physik. Chem. **31**, 42 (1899).

ja die starke Wirkung von Fettsäuren bei der Verteilung von Ölen in alkalischer Lösung, und mancher Landwirt hat schon zur Bekämpfung von Schädlingen hiervon bei der Bereitung von Petroleumemulsion mit Seife Gebrauch gemacht. Zudem sind auch noch Untersuchungen von E. Raehlmann vorhanden, nach denen Kolloide bei Ausübung der Schutzwirkung das geschützte Kolloid staubförmig zerteilen.[1]) Auch J. K. Neubert vertritt wenigstens ähnliche Ansichten.[2]) Wir dürfen demnach mit Recht annehmen, daß auch das Humuskolloid auf den Kolloidton wie auf etwa zusammenhaftende Sandteilchen zerteilend wirkt und daß dies zwar auch in neutraler Lösung geschehen könnte,[3]) indes zumeist wohl und am stärksten in alkalischer Lösung stattfinden wird. Denn auch ohne besonderes Hinzukommen von Basen wird im Boden aller Wahr-

[1]) E. Raehlmann, Arch. ges. Physiol. **112**, 147 (1906).

[2]) J. K. Neubert, Dissertation (Dresden 1913) 68.

[3]) Ohne hier auf diese, dem Thema meines Buches ferner liegenden Verhältnisse eingehen zu können, möchte ich die Vertreter der keramischen Wissenschaften darauf hinweisen, daß die Wirkung des sog. Maukens oder Rottens der Tone und Kaoline, die vor ihrer technischen Verwendung einen langsamen Fäulnisprozeß durchzumachen haben, sich auf die eben besprochene Weise ziemlich gut erklären lassen dürfte. Es handelt sich bei dem in Rede stehenden Vorgang darum, daß nach Br. Kerl, Handb. ges. Tonwarenindustrie, 3. Aufl. (1907) 277, man den Ton in größeren Ballen, auch gelegentlich eingehüllt und bespritzt, damit er nicht austrocknet, wenigstens 6—8 Wochen, Kaolin zuweilen jahrelang, in China sogar angeblich fast 100 Jahre lang liegen läßt. Die Fäulnis verläuft um so rascher und kräftiger, je mehr organische Stoffe das benutzte Wasser enthält, weswegen Sumpfwasser, auch wohl Mistjauche, zugesetzt wird. Das in frisch bearbeiteten Tonmassen vorhandene Wasser reagiert zunächst alkalisch, um dann bei dem Faulen des Tons zu sauerer Reaktion überzugehen. Durch das Faulen wird der Ton erfahrungsgemäß gut verarbeitbar, bildsamer, und liefert Waren, die sich bei weiterer Verarbeitung weniger leicht werfen. Soweit E. Cramer und H. Hecht in Br. Kerls Handbuch. Man würde nun meiner Ansicht nach annehmen dürfen, daß die in den Tonen und Kaolinen enthaltenen oder auch durch Zusätze hineingekommenen organischen Massen, unterstützt von der alkalischen Reaktion, die zunächst das Wasser darin zeigt auf die Tone wie Kaoline, und besonders auf den nach Th. Schlösing d. Ä. in Tonen wie Kaolinen enthaltenen Kolloidton stark verteilend wirkten. Die Teilchen werden kleiner, die Beschaffenheit mehr kolloid, organische Verbindungen, kurz gesagt, Humus, wird adsorbiert. Dann wird die Reaktion mit fortschreitender Zersetzung der organischen Zusatzmassen sauer, und nun kommen die jetzt in vermehrter Menge vorhandenen Kolloidstoffe des Tons bzw. Kaolins zur Koagulierung, der Ton oder Kaolin wird zunehmend bildsam. Siehe auch unten 134, Anm. 6. Man sollte annehmen, daß auf diese Weise, durch Zusatz von Humus und Alkali und dann folgende Säurebeigabe, künstlich Erfolge in der Vorbereitung keramischer Massen zu erzielen wären, freilich erst nach exakter Durcharbeitung des Vorwurfs.

scheinlichkeit nach fast überall[1]) eine schwach alkalische Reaktion herrschen, falls wir es nicht mit einem „sauren“ Boden zu tun haben.

Daß die Aufteilung durch die Humusteilchen das Aufgeschwemmtbleiben des Tonkolloids wie auch der feinsten Sande, die so vereinzelt werden, erheblich fördert, liegt nahe.

Die zweite Form, in der sich die Schutzwirkung gleichzeitig äußert, ist die schon besprochene der Umkleidung der anderen Teilchen mit Humushüllen, beziehungsweise der Humusanlagerung an diese Teilchen, so daß dieselben nun sich verhalten, als wenn sie ganz aus Humus beständen und demnach weit weniger auf Wirkungen fällender Elektrolyten reagieren.[2]) Es werden demnach einmal die Einflüsse von Wasserstoff- und mehrwertigen Metallionen stark zurücktreten, dann aber bleibt auch, und dies wird das Bedeutungsvollste sein, die Fällung durch hohe Konzentrationen sonst (in geringerer Konzentration) verteilender Stoffe, wie etwa von Alkalien, mehr oder weniger aus. So läßt sich nun Verflüssigung der Tone mit Alkalimengen ermöglichen, die sonst schon an sich infolge Überschreitung ihres Schwellenwertes zur Zusammenballung führen würden.[3]) Daher kommt die Gießbarkeit der Tone zu erweiterter Anwendung in der Tonindustrie,[4]) und auch für landwirtschaftliche Fragen besitzen diese Umstände teils größere, teils geringere Bedeutung. Darüber wird noch später zu sprechen sein.

Für beide Arten der Wirkung von Humus als Schutzstoff für Ton ist, wie ja aus dem Gesagten bereits erhellt, der Umstand maßgebend, daß Humus vom Ton aus der Lösung adsorbiert wird. Ähnlich, wie bei den Sanden derartiges beobachtet werden kann, kommt es auch für Ton vor, was A. Spangenberg näher untersuchen konnte.[5]) Derselbe stellte auch fest, daß innerhalb der von ihm untersuchten Grenzen die Schutzkraft des Humus mit der Konzentration zunimmt.[6])

Noch deutlicher trat diese Schutzwirkung des Humus auf Ton bei

---

[1]) Infolge hydrolytischer Spaltungen; vgl. F. K. Cameron und F. M. Bell, U. S. Dept. Agric. Bur. Soils **307**, 15, 23, 60 (1905).

[2]) Vgl. dazu theoretische Ausführungen von J. Billitzer, Zeitschr. physik. Chem. **14**, 187 (1894); ferner R. Zsigmondy, Kolloidchemie, 65, 112, 118 usw. (Leipzig 1912).

[3]) J. A. Bliß, Physic. Review **2**, 241 (1895); M. Böttcher, Dissertation (Dresden 1908) 58.

[4]) Vgl. dazu noch u. a. M. Böttcher, Dissertation (Dresden 1908), und A. Spangenberg, Erkenntnis d. Tongießens (Darmstadt); dies auch als Dissertation (Darmstadt 1910). Bei ihnen noch weitere Literatur.

[5]) A. Spangenberg, a. a. O. 24.

[6]) A. Spangenberg, a. a. O. 17.

Untersuchungen von H. Kappen hervor. Mit wässeriger Rohhumuslösung aufgeschüttelter Tonboden blieb wochenlang aufgeschwemmt, und als man die Rohhumuslösung durch eine Schicht mittelschweren, neutralen Bodens hindurchsickern ließ, lagerte sich dieser bald derartig zusammen, daß in 24 Stunden kaum ein Tropfen hindurchdrang.[1])

Konnte ich derart zeigen, daß der Ton von Humussubstanzen im Sinne einer Steigerung seiner Verteilung, in der Richtung einer Erhaltung seines Solzustandes und entgegen den auf Ausflockung hinarbeitenden Wirkungen beeinflußt wird, so bleiben aber noch eigenartige, gerade entgegengesetzt sich betätigende Erscheinungen desselben Gebietes zu besprechen.

Allgemein bekannt und an vielen Orten erwähnt ist die günstige Wirkung einer Humuszuführung auf die physikalische Beschaffenheit des Tonbodens.[2]) Es soll also durch Humuszusatz der Ton schon nach den alten Mitteilungen von F. Senft zu einem sehr gleichförmigen, grauschwarzen Gemisch werden, das bei allmählichem Austrocknen eine feinkrümelige, feuchte, mürbe Bodenmasse darstellt.[3]) Auch spätere Forscher erwähnen,[4]) daß der feinverteilte Humus farbstoffartig den Tonteilchen anhaftet und ihr Zusammenhaften, wie überhaupt die Bildsamkeit des Tons vermindert.[5]) Th. Schlösing d. Ä. brachte auch experimentelle Beiträge hierzu, indes wegen Benutzung von Kalkhumat nicht ganz einwandfreie.[6])

Als Erklärung wird man zunächst berücksichtigen müssen, daß als „Humus" auch vielfach Überreste pflanzlicher Stoffe bezeichnet werden, die noch mehr oder weniger ihren Zellbau aufweisen und einfach als poröse oder hohle Fremdkörper den Ton unterbrechen, beziehungsweise seinen Zusammenhang vermindern, auch das Wasser leichter durch ihn zu leiten vermögen. Sie stellen etwa das dar, was die Tonindustrie „Magerungsmittel" nennt. Ihrer wird hier nicht weiter zu gedenken sein. Was aber die sehr fein verteilte eigentliche Humussubstanz anbetrifft, die vielfach kolloide Beschaffenheit besitzt, so wird man ihr wahrscheinlich in bezug auf den Ton eine doppelte Wirkung zuschreiben müssen. In geringeren Mengen wird sie, wie oben ausgeführt, verteilend auf ihn wirken und als

[1]) H. Kappen, Landw. Versuchsstat. **89**, 63 (1916).

[2]) C. Councler, Zeitschr. Forst- u. Jagdwes. **15**, 135 (1883).

[3]) F. Senft, Steinschutt u. Erdboden (Berlin 1867) 307.

[4]) G. Appelt, Pflanze u. Boden (Breslau 1889) 63.

[5]) C. Bischof, nach Br. Kerl, Handb. ges. Tonwarenindustrie, 3. Aufl. (1907) 56, erwähnt Färbung von weißem Ton durch gelöste Humusstoffe.

[6]) Vgl. R. Waringtons Zitat, Leot. physic. propert. soils (1900) 28.

Schutzkolloid dienen. Tritt sie aber in größeren Mengen auf, so äußert sie im Gegensatz dazu eine flockende, fällende Wirkung.[1]) Ein solches Verhalten kann nicht wunder nehmen, steht vielmehr mit vielen Erscheinungen, die bei gegenseitigem Aufeinanderwirken zweier Kolloide beobachtet wurden, in Einklang.[2]) Ganz besonders entspricht es völlig der Wirkung von Hydroxylionen in Verbindung mit Ionen der Alkalimetalle auf Ton, wie z. B. bei Kaliumhydroxyd, Natriumhydroxyd oder Ätzammoniak. Auch hier finden wir zunächst bei schwächeren Konzentrationen Verteilung, die sich sogar zu einer ausgesprochenen Schutzwirkung steigern kann,[3]) bei stärkeren Konzentrationen dagegen, wie zuerst M. Simonis[4]) feststellen konnte, Ansteifung des Tonbreies. Die Kolloidchemie kennt und berücksichtigt schon lange die Erscheinung, daß auch zunächst verteilend wirkende Stoffe später, wenn ihr sehr hochliegender Schwellenwert erreicht wird, ausflocken.[5]) Es liegt also kein Grund vor, nicht für die Humussäure ganz das gleiche anzunehmen, um so mehr, als auch andere, verwickelter gebaute, organische Säuren sich gleichfalls für Ton entsprechend wirksam zeigen, so die Amidoessigsäure, die Zitronensäure, und andere. Ja, wir dürfen behaupten, dass es regelwidrig wäre, und überraschen müßte, wenn Humuslösungen nicht in geringer Konzentration zwar verteilen, in höherer aber ausflocken würden. Nähere Prüfung der hier vorliegenden Verhältnisse durch den Versuch fehlt nun leider wieder ganz, und konnte bislang des Krieges halber auch nicht einmal in groben Umrissen angestrebt werden, obwohl gerade auf diesem Gebiet Erfolge in Aussicht stehen dürften. Sobald wie möglich soll daher auch hier die experimentelle Durcharbeitung begonnen werden.

Die Flockung von Tonkolloid durch Humussubstanz wird nun nicht, wie die Säureflockung des Tons, diesen bildsamer machen. Denn das sonst klebende koagulierte Tonkolloid wird durch die mit der Ausflockung

---

[1]) Mangels näherer Untersuchungen ist nicht zu sagen, ob bei starkem bis sehr starkem Überwiegen des Humus wieder eine Fällung unterbleibt. Doch dürfte die Prüfung auch große Schwierigkeiten bieten. Vielleicht geben die später zu würdigenden Erscheinungen der Ortsteinbildung einen Hinweis, daß tatsächlich der Vorgang ein derartiger ist. Siehe auch oben 67/68.

[2]) Vgl. z. B. H. Freundlich, Kapillarchemie (Leipzig 1909) 448 u. 449. Auch Angaben von B. Aarnio können herangezogen werden. — Intern. Mittlg. Bodenk. **3**, 134 (1913). — Hier wurden erhebliche Konzentrationen von Eisenhydratsol durch geringere Anteile von Humus nicht beeinflußt, mittlere wurden ausgefällt, und geringe wieder nicht verändert, da wohl Umladung eintrat.

[3]) F. Foerster, Chem. Industr., **28**, 733 (1905).

[4]) M. Simonis, Sprechsaal, 597 (1905).

[5]) H. Freundlich, Kapillarchemie. 353/4, 361 (Leipzig 1909).

vereinte Adsorption des Humuskolloids mit diesem in so enge Vereinigung gebracht worden sein, daß man eine weitgehende Änderung der Eigenschaften sehr wohl annehmen darf. Es zeigt ja auch Ton, der größere Mengen Humus adsorbiert hat, ein geringeres Zusammenhalten der Teilchen, so daß wir wohl nicht irren, wenn wir eine Minderung der klebenden Eigenschaften des ausgeflockten Kolloidtons durch den fällenden Humus annehmen. Es mögen dabei sogar chemische Wechselwirkungen noch eine Rolle spielen, worüber indes zurzeit wohl kaum mehr als Vermutungen ausgesprochen sind. Auch der bereits von F. Senft bekannt gegebene Umstand, daß auch feine Sande, — so natürlich gleichfalls die im Ton vorhandenen, — Humus adsorbieren, mag als bedeutungsvoll heranzuziehen sein.[1]) Untersuchungen von H. Kappen[2]) haben inzwischen ergeben, daß anscheinend mineralische Kolloide ähnlich stark auf Ton und seine Zusammenballung zu wirken vermögen. Wie weit hierbei der Wertigkeit der Metallionen u. dgl. etwa auch eine Rolle zugesprochen werden muß,[3]) ist noch nicht zu entscheiden.

Damit dürften diese Besonderheiten der nach zwei Richtungen hin möglichen Humuseinwirkung ausreichend behandelt sein, soweit dies zur Zeit überhaupt möglich ist; sie nehmen ja für den Ton allerdings eine sehr wichtige Stellung ein.

Sonstige Eigenschaften des Tons.

Es sei nun in ähnlicher Weise, wie vorher bei anderen Kolloiden, noch auf einige der weiteren Eigenschaften des Tons eingegangen.

Die Teilchengröße muß, ganz entsprechend der Zusammensetzung des Tons aus Teilchen von wechselndem Durchmesser bis hinab zur Dimension der Submikronen und vielleicht Amikronen, keine sicher festzulegende sein. Daß G. Given und P. Ehrenberg als mittleren Durchmesser der Kolloidtonteilchen weniger als 140 $\mu\mu$ feststellten, ist bereits mitgeteilt.[4]) Natürlich ist es sehr wahrscheinlich, daß aus verschiedenen Erdböden isolierte Kolloidtonproben auch hierin wieder gewisse Unterschiede aufweisen werden. Jedenfalls muß aber bezüglich der Ermittlung der Größe von Teilchen des eigentlichen Kolloidtons davor gewarnt werden, sich auf Angaben zu verlassen, die an derartigen Kolloiden oder auch etwa

[1]) F. Senft, Steinschutt und Erdboden, 318 u. 319 (Berlin 1867).

[2]) H. Kappen, Landw. Versuchsstat. **88**, 33 u. f. (1916).

[3]) A. a. O. 36 und 34, man beachte das Ausnahmeverhalten der organischen Eisen- und Aluminiumsalze, deren Säureion besonders stark adsorbiert werden dürfte.

[4]) Vgl. oben 102.

an feinsten Aufschwemmungen durch Methoden erzielt wurden, welche den bakteriologischen Färbemethoden gleichen. Was bei Lebewesen mit fest umschriebenen Grenzen seine Berechtigung hat,[1]) muß bei durch Kochen und noch viel mehr durch Eindampfen sich zusammenballenden Kolloiden, die auch noch durch die Farblösungen stark beeinflußt werden können, als ganz verfehlt betrachtet werden.[2]) Daß auch schon gekochte Kolloidtontrübungen in gewissem Umfang zusammengeballte Teilchen darbieten und infolgedessen Messungen daran trügen, wurde bereits gelegentlich der Erwähnung von W. R. Williams Versuchen[3]) hervorgehoben. Einige Literaturzusammenstellungen zu den Anschauungen über Größe der Tonteilchen habe ich früher gebracht.[4])

Bereits oben gab ich der Ansicht Ausdruck, daß man es bei dem eigentlichen Kolloidton mit einem Tröpfchenkolloid zu tun haben dürfte. Die mannigfachen Erscheinungen empfindlichen Reagierens von Tontrübungen auf Zusatz geringer Elektrolytmengen, die man häufig feststellen konnte,[5]) werden bei weitem nicht sämtlich als Gegengrund angeführt werden dürfen, weil es sich hierbei zumeist nicht um reinen, in Wasser aufgeteilten Kolloidton handelte. Für ein Tröpfchenkolloid sprechen die deutlich klebenden Eigenschaften, die Th. Schlösing d. Ä.[6])

[1]) Allerdings auch schon hier Irrtümer herbeiführte.

[2]) Bereits früher, Koll.-Zeitschr. **4**, 43 (1909), habe ich hierauf Hinweise gegeben, als ich M. Whitneys Versuche zur Bestimmung der Größe von Tontrübungsteilchen besprach. (U. S. Dept. Agric. Weather-Bur., Bull. **4** [1892.]) Aber neuerdings hat A. Spangenberg, wieder in ganz derselben Weise arbeitend, auch ganz gleiche Werte für die Teilchengröße von Kaolintrübungen erhalten, nämlich 1 μ Durchmesser. (Dissertation [Darmstadt 1910] 42.) Beide Ergebnisse sind trotz ihrer guten Übereinstimmung natürlich wertlos. Welchen mehr als gewaltsamen Behandlungsarten man Ton vor seiner Betrachtung im Mikroskop gelegentlich aussetzte, zeigen u. a. Angaben von L. Milch, Grundlagen d. Bodenkunde (1899) 111 ff., wo Behandeln mit Säure und Glühen angeführt wird!

[3]) W. R. Williams, Forsch. Geb. Agrikulturphysik **18**, 249 (1895). Entsprechende Ergebnisse bei S. Odén, Koll.-Zeitschr. **18**, 47 (1916).

[4]) P. Ehrenberg, Koll.-Zeitschr. **3**, 193 (1908).

[5]) W. Skey, Chemic. News **17**, 160 (1868); Th. Schlösing d. Ä., Compt. rend. **70**, 1345 (1870); D. Robertson, Transact. Glasgow. Geol. Soc. **4**, 257 (1874); W. Ramsay, Quart. Journ. Geol. Soc. London **32**, 129 (1876); W. Durham, Proc. Roy. Phys. Soc. Edinburgh **4**, 46 (1878); C. Barus, Sillimans Amer. Journ. Science (3) **37**, 122 (1889); K. Weule, Annal. d. Hydrograph. **24**, 402 (1896); W. Spring, Receuil Trav. Chim. Pays-Bas **19**, 222 (1900); H. S. Allen, Nature **64**, 279 (1901); W. H. Wheeler, ebenda 181; G. Quinke, Verhandl. Naturh. Med. Verein Heidelberg, N. F. **7**, 97 (1902/04). Vgl. auch unten 346, Anm. 6.

[6]) Th. Schlösing d. Ä., Compt. rend. **78**, 1440 (1874).

und nach ihm E. W. Hilgard[1]) am Kolloidton beobachteten, die starke Fähigkeit, nach dem Ausfallen wieder bei geeigneter Behandlung in Aufschwemmung überzugehen,[2]) die wir überhaupt beim Ton kennen lernen, und auch das große Volum, das ausgefällter Kolloidton gegenüber gefälltem Tonerde- bzw. Eisenhydroxydkolloid einnimmt.[3]) Doch fehlen auch hier eingehendere Kenntnisse, die uns nur durch exakte Experimentaluntersuchungen gebracht werden können.

Schon oben[4]) wurde weiter die Frage des „Alterns" der Tone behandelt und dort wohl alles gesagt, was sich bei dem Fehlen jeglicher Untersuchungen mit reinem Kolloidton in dieser Richtung sagen lassen dürfte.[5]) Wir haben Veranlassung anzunehmen, daß der Vorgang des Alterns bei Kolloidton zum mindesten sehr langsam einsetzt und durch verteilende Einwirkungen noch in weit vorgeschrittenem Zustande beseitigt werden kann. Das dürfte aber nur dann gelten, wenn es sich eben nur um Wirkungen der Zeit handelt und diese nicht durch völliges Austrocknen, chemische Einflüsse oder Druck und Wärme beeinflußt und verstärkt worden sind. Auch mag weiter die Langsamkeit oder das völlige Ausbleiben eines Alterns des Tons nur dadurch möglich sein, daß er wohl nahezu stets unter dem Einfluß geringer Mengen von Hydroxylionen lagert, die dem Altern entgegenarbeiten.[6]) Nicht weniger wird die sehr häufig unter dem verteilenden Einfluß von humusartigen Stoffen bei den Tonen erzielte weitgehende Herabminderung der Größe der Einzelteilchen, und die mit ihr zugleich einhergehende Schutzwirkung durch solche organischen Stoffe dabei eine Rolle spielen, vor allem aber auch die Tatsache, daß in der dichten Tonmasse mit nur wenig Dispersionsmittel überhaupt Veränderungen jeder Art[7]) nur sehr schwer und langsam vor sich gehen. — Die elektrische Ladung des Tons ist negativ. Zwar liegen auch noch keine direkten Versuche für den eigent-

[1]) E. W. Hilgard, Soils (Neuyork 1906) 61 ff.

[2]) Th. Schlösing d. Ä., Ann. Chim. Phys. (5) **2**, 519 (1874).

[3]) 0,55 g aus Kaolin isolierter Kolloidton in Wasser nahm 24 Stunden nach der Fällung einen Raum von 146 ccm ein, gleiche Gewichtsteile Tonerde- bzw. Eisenhydroxydkolloid in Wasser dagegen nur 30 bzw. 100 ccm. Vgl. Th. Schlösing d. Ä., Compt. rend. **79**, 476 (1874).

[4]) Vgl. 121.

[5]) Auch R. van der Leeden und F. Schneider erwähnen zwar die Möglichkeit des Alterns von Bodenkolloiden, ohne aber Weiteres dazu beizubringen, Intern. Mittlg. Bodenkunde **2**, 98 (1912).

[6]) Solbildner nach E. Jordis, Koll.-Zeitschr. **1**, 99 (1906); **3**, 159 (1908). Vgl. auch A. Lottermoser, Koll.-Zeitschr. **2**, Erg.-Heft 1, IV (1907).

[7]) M. Böttcher, Dissertation (Dresden 1908) 60.

lichen Kolloidton vor,[1]) aber die zuerst von Th. Schlösing d. Ä.[2]) festgestellte Fällung durch Wasserstoffion und Verteilung durch Hydroxylion in geeigneter Konzentration,[3]) welch letztere aus der Tonindustrie genugsam bekannt[4]) und durch neuere Arbeiten auch theoretisch[5]) geprüft worden ist,[6]) gibt Berechtigung zu dieser Ansicht.[7]) Die im Ton vorhandenen, mehr oder weniger feinen und feinsten Sandteilchen zeigen überdies als Aufschwemmung in Wasser ohnehin negativ elektrische Ladung.[8])

Entsprechend wird ja, wie erwähnt, auch der Ton durch Alkali oder, genauer gesagt, durch steigende Mengen von an Alkalimetalle gebundenen Hydroxylionen verteilt, falls diese nicht in so hoher Konzentration vorhanden sind, daß sie den sog. „Schwellenwert" überschreiten und dann natürlich fällend wirken. Diesen Schwellenwert hat gerade für Ton zuerst

[1]) Vgl. sonst J. K. Neubert, Dissertation (Dresden 1913) 77. Auch im Göttinger Agrikulturchemischen Institut ist von Herrn G. C. Given negative Ladung bei Trübungen von sorgfältig gereinigtem Ton ermittelt worden.

[2]) Vgl. dessen mehrfach erwähnte Arbeiten.

[3]) Auch W. Durham stellte sie durch Versuche fest, Chem. News **30**, 57 (1874); **37**, 47 (1878).

[4]) Vgl. z. B. A. Brongniart, Traité arts céram. ou d. poteries **1**, 149 (1844); E. Weber, Sprechsaal **38**, 123 (1905).

[5]) F. Foerster, Chem. Ind. **28**, 733 (1905); M. Simonis, Sprechsaal **38**, 597, 881, 1240 (1905); **39**, 169 (1906); M. Böttcher, Dissertation (Dresden 1908) 71; J. K. Neubert, Dissertation (Dresden 1913).

[6]) Diese, bei den Schwellenwert nicht überschreitender Konzentration der Hydroxylionen für Ton aufteilende Wirkung, welche den Gegensatz zum Einfluß der Wasserstoffionen darstellt und der Bildsamkeit des Tons entgegenwirkt, ist auch die Ursache dafür, daß über gewisse Grenzen hinaus fortgesetztes Feinmahlen die Bildsamkeit nicht mehr fördert, sondern vermindert. Es zeigt sich diese Erscheinung besonders bei Feldspat enthaltenden Massen. Durch die Hydrolyse kommt eben bei fortschreitender Zerkleinerung mehr und mehr Alkali aus dem Feldspat zur Lösung. Man denke an den entsprechenden Vorlesungsversuch über die Löslichkeit des Glases. Das so abgespaltene Alkali muß hemmend, zuletzt sogar beseitigend auf die Bildsamkeit der Masse wirken. Vgl. auch die Anmerkung im Sprechsaal **43**, 121 (1910), sowie P. E. Brown und H. W. Johnson, Journ. Ind. Eng. Chem. **7**, 776 (1915), die gleichfalls beim Pulvern von Erdboden unter Umständen basische Reaktion auftreten sahen. Säurezusatz bis zur Neutralisierung oder weiter würde wahrscheinlich die ständige Verstärkung der Bildsamkeit durch Mahlen bemerkbar machen. Vgl. dazu W. Pukall, Koll.-Zeitschr. **18**, 238 (1916).

[7]) Auch F. Foerster stellte a. a. O. die elektrisch negative Ladung aufgeschwemmten Tones fest.

[8]) Vgl. z. B. G. Quinke, Ann. d. Phys. (4) **7**, 37 (1902). Derselbe, ebenda (2) **113**, 513 (1861); H. Bechhold, Zeitschr. physik. Chem. **48**, 395 (1904).

Th. Schlösing d. Ä. für eine ganze Reihe von Elektrolyten ermittelt[1]) und damit die Tatsache festgelegt, daß unter einer gewissen Minimalkonzentration eine Ausfällung nicht mehr stattfindet. G. Bodländer hat dann für Kaolinaufschwemmungen diese Frage eingehender behandelt,[2]) und heute sind die von ihm dabei gemachten Beobachtungen wohl allgemein als richtig anerkannt. Wenn die Anschauung vertreten werden konnte, daß Alkali allein auf Tonteilchen nicht zerteilend wirke,[3]) obwohl M. Böttcher das Gegenteil ziemlich deutlich nachgewiesen haben dürfte,[4]) so ist als Grund vielleicht ausschließliche Verwendung von Kaolin, nicht von Ton zu nennen, daneben auch etwas weitgehende Verallgemeinerung der aus eigenen Versuchsergebnissen[5]) gezogenen Schlüsse. Vor allem versteht A. Spangenberg aber wohl unter seiner „Zerteilung" noch etwas anderes, als hier gemeint ist.

Es liegt nahe, daß auch andere Ionen als die Hydroxylionen stark auf Tonaufschwemmungen und überhaupt auf Tone wirken müssen.[6]) Die Versteifung von Tonmassen durch Säure, auf die bereits H. A. Seger aufmerksam machen konnte[7]) und die auch C. Hartmann kannte,[8]) dürfte ebenso auf eine Wirkung von Wasserstoffionen hinweisen, wie die bekannte schnelle Fällung von Tontrübungen durch Säuren.[9]) Da auch

[1]) Th. Schlösing d. Ä., Ann. Chim. Phys. (5) **2**, 517 (1874); Barrals Journ. de l'agriculture Nr. 287, 50; 288, 93; 289, 140; 290, 171 (1874); W. Durham, Chem. News **30**, 57 (1874); **37**, 47 (1878).

[2]) G. Bodländer, Neues Jahrb. Mineralogie **2**, 147 (1893).

[3]) A. Spangenberg, Erkenntn. d. Tongießens (Darmstadt 1910) 44, 49.

[4]) M. Böttcher, Dissertation (Dresden 1908) 30, 33, 34, 45.

[5]) A. Spangenbergs Versuchsergebnisse a. a. O. 18—23 u. 38 berechtigen jedenfalls auch an sich kaum zu dem obengenannten Schluß; noch weniger seine auf 41 mitgeteilten Beobachtungen, die dort auch nur zu dem Schluß führen, Alkali allein scheine keine erhebliche Aufteilung herbeizuführen.

[6]) Erwähnt seien hierzu nur der Vollständigkeit halber noch Arbeiten von T. Sterry Hunt, Proc. Boston Soc. Nat. Hist. **16**, 302 (1873/4); W. Ramsay, Phil. Magaz. [5], **1**, 328 (1876).

[7]) H. A. Segers ges. Schriften, herausgeg. v. H. Hecht u. E. Cramer (Berlin 1896) 573.

[8]) C. Hartmann, Tonwarenfabrikation (1850), zit. nach Br. Kerl, Handb. ges. Tonwarenindustrie (1907) 306.

[9]) Vgl. Adolf Mayer, Forsch. Geb. Agrikulturphysik **2**, 256 (1879); W. Brewer, Amer. Journ. Science Arts (3) **29**, Nr. 1 (1885). Weiter R. Sachsse und A. Becker, Landw. Versuchsstat. **43**, 21 (1894). Diese arbeiteten mit Erdböden, doch auch zum Teil mit Kaolin, wie gleichfalls G. Bodländer, der nur Kaolinaufschwemmungen untersuchte: Nachr. Ges. d. Wiss. Göttingen **3**, 273, 274, 276 (1893); Th. Graham, nach R. Zsigmondy, Erkenntnis d. Kolloide (Jena 1905) 30.

die mehrwertigen, positiv geladenen Ionen, wie z. B. die des Kalziums,[1]) eine sehr stark fällende Wirkung auf Tontrübungen ausüben,[2]) die man sogar technisch auszunutzen vorschlug[3]) und in Kaolinschlämmereien wirklich verwendete,[4]) so dürfen wir für den Ton ein den in der Einführung dargelegten Gesetzen über die Ausflockung der Kolloide folgendes Verhalten mit Sicherheit annehmen. Ist ja doch auch das dreiwertige Aluminiumion zur Tonfällung technisch herangezogen worden.[5]) Angaben von H. Kappen lassen eine sich vom einwertigen zum dreiwertigen Metallion außerordentlich stark steigernde Wirkung feststellen.[6])

Eine Besonderheit mag hier noch nach M. Böttcher, der sie nachwies, erwähnt sein. Setzte dieser Alkali in einer Konzentration zu Tonbrei hinzu, welche, da sie weit über dem Schwellenwert lag, den Ton zunächst stark ansteifte, so zeigte sich doch später eine deutliche Verflüssigung. Genauere Untersuchungen lehrten, daß offenbar der Ton Alkali in sich aufnahm und dadurch die Alkalikonzentration in dem den Ton umgebenden und die Zwischenräume zwischen seinen einzelnen Teilchen ausfüllenden Wasser verminderte. So wurde der Schwellenwert unterschritten und die Verflüssigung des Tons trat nach einer gewissen Zeit ein[7].) Daß die Tonteilchen wirklich Alkali aus dem Wasser des Tonbreies aufnahmen, wurde durch Titration wie durch Leitfähigkeitsmessung bewiesen. M. Böttcher sieht in dieser Aufnahme eine Adsorption und erklärt deren langsamen Verlauf bzw. die Verzögerung der Einstellung des Adsorptionsgleichgewichtes durch die steife Konsistenz der Tonbreie.[8]) Damit würde man sich auch einverstanden erklären können. Indes zeigte sich diese Verzögerung der Einstellung des Adsorptionsgleichgewichtes auch dann, wenn M. Böttcher in dünnflüssiger Aufschwemmung arbeitete. Hier, unter den von ihm mitgeteilten Bedingungen,[9]) eine merkbare Verzögerung der Gleichgewichtseinstellungen anzunehmen, dürfte nach dem über die Adsorptionsgeschwindigkeiten Bekannten doch

---

[1]) R. Sachsse und A. Becker, Landw. Versuchsstat. **43**, 16 (1894). A. Mayer, Forsch. Geb. Agrikulturphysik **2**, 259 (1879).

[2]) Der Schwellenwert des CaO fürs Liter liegt für Tonaufschwemmungen nach Th. Schlösing d. Ä. über 50 mg. Vgl. Barrals Journ. de l'agriculture Nr. 287—290, 50 ff. (1874).

[3]) W. Artus, Polytechn. Zentralbl. 1865, 72.

[4]) Br. Kerl, Handb. ges. Tonwarenindustrie, 3. Aufl., bearb. E. Cramer und u. H. Hecht (1907) 195.

[5]) Ebendort.

[6]) H. Kappen, Landw. Versuchsstat. **88**, 34/36 (1916).

[7]) M. Böttcher, Dissertation (Dresden 1908) 48—62.

[8]) M. Böttcher, a. a. O. 60. — [9]) Derselbe a. a. O. 57.

nicht ganz leicht sein.[1]) Dagegen würde eine Aufnahme von Alkali aus der Oberfläche in das Innere der Tonteilchen hinein meines Erachtens besser zur Erklärung geeignet erscheinen, da eine derartige Diffusion naturgemäß Zeit erfordern würde.[2]) Da indes andrerseits die erforderliche Zeit bei M. Böttchers Versuchen keine besonders lange gewesen zu sein scheint, so müßte man annehmen, daß die Diffusion von Alkali ins Innere der Tonteilchen[3]) verhältnismäßig schnell von statten ging, und kommt so auf diesem Wege zu einer Bestätigung der bereits früher vertretenen Annahme, daß die Teilchen des Kolloidtons, des eigentlichen Trägers der meisten an Tonen zu beobachtenden Erscheinungen, im Innern mehr die Eigenschaften einer Flüssigkeit als eines festen Körpers zeigen,[4]) mit anderen Worten, daß der Kolloidton ein Tröpfchenkolloid ist.[5]) Soweit die Beobachtung Böttchers geeignet erscheint, ein Licht auf die Klärung des Adsorptionsvorganges zu werfen, wird sie noch später am geeigneten Ort behandelt werden.

Das Gefrieren des Tons.

Einer besonderen Besprechung werden noch die Erscheinungen bedürfen, welche durch Frost an Ton hervorgerufen werden.

Zunächst scheint an Tonen, die frisch aus der Grube kommen, in der sie seit langen Zeiten lagerten, der Frost die Wiederherstellung der Bildsamkeit und damit, nach den oben gegebenen Ansichten, der kolloiden Beschaffenheit zu fördern.[6]) Denn man läßt in der Praxis vielfach die

[1]) Nach H. Freundlich, Kapillarchemie (Leipzig 1909) 172, stellen sich die Adsorptionsgleichgewichte meist sehr rasch ein. Vgl. auch a. a. O. noch 82.

[2]) Noch andere Ansichten hierüber bei J. K. Neubert, Dissertation (Dresden 1913) 61—69.

[3]) Selbstverständlich kommt nur der Kolloidton, nicht die Menge der feinen und feinsten Sande für derartige Aufnahmen in Frage.

[4]) Schon H. Rodewald hat, allerdings auf Grund von Überlegungen, welche den Th. Schlösingschen Untersuchungen nicht ausreichend Rechnung tragen dürften, die Ansicht vertreten, daß die Tonteilchen ihrer Substanz nach teilweise oder ganz quellbar sind; Fühlings landw. Ztg. **57**, 455 (1908). Ebenso C. Luedecke, Kulturtechniker, Sonderdruck: Wasserbeweg. i. Boden, II (1909?) 11. Noch früher stellte E. Wollny die gleiche Behauptung auf, allerdings meines Wissens ohne den Versuch, sie zu beweisen; Forsch. Geb. Agrikulturphysik **8** 201 (1885). Auch G. Appelt, Pflanze u. Boden (Breslau 1889) 56 sieht die Tonteilchen als quellbar an. Vgl. hierzu auch E. H. Büchner, Ver. K. Acad. Wet. Amsterdam **24**, 267 (1915). Dagegen will C. Barus mit E. A. Schneider — Zeitschr. phys. Chem. **8**, 287 (1891) — bewiesen haben, daß die Masse in Wasser aufgeschwemmter Lehmteilchen dadurch keine wesentliche Dichtigkeitsänderung erlitten hat.

[5]) Vgl. auch oben Seite 132.

[6]) Br. Kerl, Handb. ges. Tonwarenindustrie (1907) 324.

frischen Tonhaufen zu diesem Zweck durchfrieren, wie man sie sonst auch unter Anfeuchtung durcharbeitet.[1])

Daß tatsächlich durch Gefrieren und Wiederauftauen von frisch aus der Grube entnommenem Ton auch ohne häufigeres Befeuchten und Durcharbeiten eine gewisse Vergrößerung der Oberfläche oder, was dasselbe sagen will, eine Steigerung der Verteilung und damit des kolloiden Zustandes erreicht wird, habe ich gemeinsam mit G. Freiherrn v. Romberg allerdings innerhalb verhältnismäßig enger Grenzen feststellen können.[2])

Dann aber wird auf Ton, der seine eigentümlichen Eigenschaften in vollem Maße, nicht gewissermaßen latent, wie häufig frisch gegrabener oder gebrochener Grubenton, besitzt, der Frost noch anderweitig wirken. Bereits seit langem hat man in der Tonindustrie beobachtet, daß der angefeuchtete Ton durch Frost in seiner ganzen Masse Risse bekommt, wohl auch gänzlich zu Krümeln zerfällt.[3]) Davon spricht bereits in seinen Grundsätzen der rationellen Landwirtschaft Altmeister A. D. Thaer,[4]) dem auch die große Beständigkeit von Tontrübungen in Wasser nicht unbekannt war, und ebenso G. E. W. Crome.[5]) Schon damals wurde als Erklärung der Frostwirkung die Ausdehnung des im Ton gefrierenden Wassers betont. Näher auf die erwähnten Erscheinungen wies dann F. Senft hin, der zumal darauf aufmerksam machte, daß die Erdkrümel, in welche der Ton beim Gefrieren zerfällt, nur schwach kleben und wenig formbar sind.[6]) H. A. Seger[7]) brachte dann zur Erklärung dieser starken Einflüsse den sehr wichtigen Hinweis, daß es sich wohl auch um die Ausdehnung des Wassers beim Übergang in Eis handele,[8]) doch nicht in erster Linie. Denn die bloße Raumausdehnung des Wassers beim Gefrieren würde zu gleichmäßiger Ausdehnung des Tons und infolgedessen nur zu einem Bruch an besonders durch Ungleichmäßigkeiten geschwächten Stellen führen. Weil aber sich das gefrierende Wasser besonders dort, wo zuerst Anfänge von Eiskristallen entstanden,[9]) anlagert — genau wie wenn in einer Zucker- oder Kupfervitriollösung ein Kristall entsteht und durch ständige

[1]) Ebendort 141. Ferner H. A. Seger, Ges. Schriften, herausgeg. v. H. Hecht u. E. Cramer (1896) 22.

[2]) P. Ehrenberg u. G. Freiherr von Romberg, Journ. Landw. **61**, 78 ff. (1913).

[3]) Vgl. z. B. A. Frankau, Dissertation (Techn. Hochschule München 1909) 10 ff.

[4]) A. D. Thaer, a. a. O. 5. Aufl. **2**, 95 (1853).

[5]) G. E. W. Crome, Boden u. Verhältn. z. Gewächs. (Hannover 1812) 32.

[6]) F. Senft, Tonsubstanzen (Berlin 1879) 35.

[7]) H. A. Segers ges. Schriften, herausgeg. v. H. Hecht u. E. Cramer (Berlin 1896) 21.

[8]) Sie beträgt etwa 9 %.

[9]) Vgl. unten 159/60.

Anlagerung wächst —, so bilden sich an diesen Orten größere Eiskristalle, schieben die Tonteilchen zur Seite und schaffen sich so selbst gewaltsam Raum.[1]) Auch ziehen sie dann, wenn die Umstände dies ermöglichen, ständig aus ihrer Umgebung weitere Wasserteilchen an sich, und lagern sie sich als Eiskristalle an, dabei immer mehr heranwachsend. Sie bewerkstelligen so nicht nur eine Volumvermehrung und Auflockerung, sondern hinterlassen nach dem Verschwinden des Eises ein Netz von feinen bis gröberen Kanälchen bis ins Innere des Tones. Dies muß bei langsamem Gefrieren, und besonders bei häufigem Wechsel zwischen Frost und kurzem Tauwetter, wie es Frost mit Sonnenschein bei uns oft bedingen wird, um so mehr und fortschreitend der Fall sein, als man nach den Ergebnissen physikalisch-chemischer Untersuchungen[2]) erwarten muß, daß die größeren Eiskristalle im Laufe der Zeit auf Kosten der kleineren wachsen.

Auch unmittelbar zur Klärung dieser Verhältnisse angestellte Versuche vermochten Entsprechendes zu erweisen. G. C. Given[3]) verglich die Wirkung des Frostes bei langsamem und schnellem Gefrieren, wobei im ersten Fall, unter Anwendung von Eis und Salz der Tonbrei bei -10^{0} etwa 30—45 Minuten bis zum völligen Erstarren brauchte, im zweiten aber, unter Anwendung flüssiger Luft, nur etwa 10 Sekunden. In beiden Fällen erwies sich nach dem Auftauen der Ton als zusammengeballt, aber während der langsam gefrorene Boden, in dem Zeit genug zur Vergrößerung einzelner Eiskristalle, und zum ziemlich weitgehenden „Ausfrieren" des Tons aus dem Wasser gewesen war, eine grobe, gewissermaßen sandige Struktur aufwies, zeigte sich dieselbe bei dem mit flüssiger Luft gefrorenen Ton, obgleich krümelig, in den einzelnen Körnchen zu fein, um deutlich wahrnehmbar zu sein. Die bei langsamem Gefrieren ziemlich groß heranwachsenden Eiskristalle pressen offenbar die Tonteile zwischen einander fest zusammen, ihnen zu gleicher Zeit Wasser entziehend, so daß sich hier auch der von H. W. Fischer betonte Vergleich der Frostwirkung mit dem Austrocknen[4]) bewahrheiten wird. Bei schnellem Gefrieren wird die

[1]) Zu beachten ist für die ganze Erscheinung des Gefrierens von Ton bzw. überhaupt Erdboden, daß in Kapillaren das Wasser erhebliche Unterkühlungen wie auch einen erniedrigten Gefrierpunkt zeigt. Vgl. z. B. F. Rüdorff, Ann. d. Phys. u. Chem. **114** (190), 64 (1861). In einer feuchten Tonkugel gefriert das Wasser nach P. Bachmetjew erst bei $-0,7^{0}$; Zeitschr. wiss. Zool. **66**, 584 (1899); vgl. oben 22.

[2]) Vgl. P. Curie, Bull. Soc. Mineral. **8**, 145 (1885). W. Gibbs, Thermodynamische Studien, deutsche Übersetzung (Leipzig 1892) 376. Wi. Ostwald, Wissenschaftliche Grundlagen der analytischen Chemie, 3. Aufl. 15 (1901).

[3]) G. C. Given, Inauguraldissertation Göttingen, 20 u. 21 (1915).

[4]) H. W. Fischer, Koll.-Zeitschr. **8**, 294 (1911); vgl. auch unten 144.

gleiche Erscheinung zugrunde liegen, aber mit dem Unterschied, daß die Eiskristalle sich nur bis zu verhältnismäßig sehr geringer Größe heranzubilden vermögen, und daher die in ein einzelnes Klümpchen zusammengepreßte Menge von Ton sehr viel geringer ist, während sich natürlich der Zahl nach mehr Klümpchen bilden. Es sei hier an die bekannten Verhältnisse von Schnee, Firneis und Gletschereis im Hochgebirge erinnert, bei denen auch die Zeit und wohl daneben noch Temperaturschwankungen eine ständige Vergrößerung der Eiskristalle erlauben. Daß bei dem oben angeführten Versuch wirklich Unterschiede in der Größe der sich bildenden Eiskristalle vorlagen, konnte noch näher dargelegt werden. Ließ man ausgekochtes, destilliertes Wasser durch Eis und Salz gefrieren, so ergab sich ein klarer Eisblock, so klar wie das Wasser selbst. Wurde dagegen gleich behandeltes Wasser mit flüssiger Luft zum Gefrieren gebracht, so erhielt man eine schneeweiße Masse, wie Porzellan, deren Farbe vielleicht durch Reflexion des Lichts an zahllosen, winzig kleinen Eiskristallen bedingt war, während sich bei langsamem Frieren nur wenige, große Eiskristalle bildeten.[1])

Daß tatsächlich die Wirkung des Ausfrierens auf den Ton in vieler Hinsicht einem Trocknungsvorgang ähnelt, vermochte G. C. Given noch weiter zu erweisen.[2]) Nach Gefrieren und Wiederauftauen ergab sich aus Tonbrei eine unter Wasser liegende, sandig-körnige Tonmasse, die nur einen um Geringes größeren Raum beanspruchte, als die für Herstellung des Tonbreies benutzte Tonmenge in trockener, zerkleinerter Form. Der Versuch, die Zusammenballung des Tons beim Gefrieren durch die Konzentration der Elektrolyten, die in ihm enthalten sind, zu erklären, wie ihn H. E. Ashley vornimmt,[3]) kann angesichts dieser Tatsachen nicht ausreichen, denn Steigerung der Elektrolytkonzentration durch Ausfrieren reinen Wassers könnte wohl eine Ausflockung oder Zusammenballung von Tonteilchen bedingen, aber nicht eine Art Brockenbildung, wie sie hier beobachtet werden konnte. Die Tonteilchen müssen durch den Kristallisationsdruck des Eises mit einer gewissen Kraft zusammengepreßt werden, welche sie zu einer Art von Klümpchen oder Brocken zusammenhaften läßt. Genau das gleiche erreicht man, nur in einem einzigen, zusammenhaftenden Ballen, wenn man derartigen Tonbrei in einer sehr stark wirkenden Zentrifuge schleudert. Nur wird der Ton dabei

---

[1]) Ganz ähnliche Ergebnisse erhielt schon G. Quinke, als er ausgekochtes Wasser in flüssiger Luft gefrieren ließ. Er nimmt Bläschen und Schaumkammern in den weißen Eisteilchen, u. dgl., an. Drude's Ann. d. Phys. (4), **18**, (1905).

[2]) A. a. O. 19.

[3]) H. E. Ashley, Deptm. U. S. Geol. Survey, Bull. **388**, 70 (1909).

noch bei weitem nicht so stark entwässert, wie offenbar durch Ausfrieren. Der Kristallisationsdruck scheint demnach ein sehr erheblicher zu sein, wenn Tonbrei gefriert, und sich die Eiskristalle in ihm bilden.

Damit wäre die zweite Wirkung des Frostes auf Ton ziemlich klargestellt,[1]) die Bildung gröberer Haufwerke oder Krümel.[2]) Die erste war — bei frisch der Grube entnommenem Ton — die Zerkleinerung bzw. Auf-

[1]) Daß die oben wiedergegebene, schon längst bekannte Erklärung das Richtige trifft und die Kristallbildung des Eises den Boden auflockert, kann jetzt noch durch einen eigenartigen Vergleich bestätigt werden. S. Passarge wies nämlich — Die Kalahari (1904) 508 — nach, daß auch auskristallisierendes Salz auf den Boden starke Wirkungen auszuüben vermag und ihn zerkleinert und lockert, ja, sogar größere Bodenstücke stark verschiebt. Es ist nicht ausgeschlossen, daß auch in unseren Ackerböden gelegentlich, wenn auch wohl nur ganz im kleinen und in sehr geringem Umfange, der Druck auskristallisierender Salze an der Schaffung des Bodengefüges arbeitet. Vgl. auch unten 212, und 513, Anm. 2.

[2]) Wesentliche Verminderung der Teilchenzahl durch Frost, offenbar durch Zusammenballung bzw. Krümelbildung, fand C. Kühn bei einer Anilinfarbe. Von 240.10^9 sank die Teilchenmenge auf 8.10^9 im Gramm. Zeitschr. angew. Chem. **28**, 126 (1905). Genauer konnten die hierbei vorliegenden Erscheinungen nachgewiesen werden, als Ultramarintrübungen im Göttinger Agrikulturchemischen Institut zum Ausfrieren gebracht und dann nach jedesmaligem Frieren unter dem Mikroskop beobachtet wurden. E. Hahn stellte hierbei fest, daß bei Zählung unter 560facher Vergrößerung die Zahl der Teilchen in der Zeiß-Thoma-Kammer bestand:

	Einzelteilchen	Doppelteilchen	Drillingsteilchen	mehr- u. vielfach zusammengesetzten Teilchen
bei der ursprünglichen Aufschwemmung	71	48	29	45
nach einmaligem Gefrieren .	46	59	36	64
nach zweimaligem Gefrieren	47	81	41	93
nach dreimaligem Gefrieren	44	39	24	76
nach viermaligem Gefrieren	24	34	18	88
nach fünfmaligem Gefrieren	19	29	9	103

Hieraus ergibt sich ein Verhältnis der gar nicht, oder nur aus einer geringen Teilchenzahl zusammengesetzten Ultramaringebilde zu den aus einer größeren Teilchenzahl zusammengesetzten:

	1 + 2 + 3fache Teilchen	zu	4- u. mehrfachen Teilchen
bei der ursprünglichen Aufschwemmung .	3,3	,,	1
nach einmaligem Gefrieren	2,2	,,	1
nach zweimaligem Gefrieren	1,8	,,	1
nach dreimaligem Gefrieren	1,4	,,	1
nach viermaligem Gefrieren	0,8	,,	1
nach fünfmaligem Gefrieren	0,55	,,	1

teilung.[1]) Die soeben besprochene Wirkung, die Zerkrümelung und Bildung von feinen und gröberen Kanälen für Wasser wie Luft, ist zwar anscheinend ein recht klarer, einfacher Vorgang, aber doch wohl noch sehr näherer Behandlung bedürftig. Es wird dabei von Bedeutung sein, für ihn im Anschluß an die Anschauung, die wir oben an der Hand von Th. Schlösings d. Ä. Untersuchungen über die Beschaffenheit des Tones überhaupt gewonnen haben, auch hier eine einleuchtende Erklärung zu geben.

Ich hatte die Meinung vertreten, daß der Ton aus wenig kolloider Tonsubstanz und sehr feinen Sandteilchen besteht, die von jener umhüllt sind, vor allem wenn sie ausgeflockt ist. Dadurch wird gleichzeitig der Ton seine Bildsamkeit und andere besondere Eigenschaften erlangen. Wird durch unterhalb des Schwellenwertes bleibenden Alkalizusatz der Kolloidton in den Solzustand übergeführt, verteilt, so schwindet die Bildsamkeit, und bei ausreichender Aufschwemmung in Wasser gelingt es, die feinen und feinsten Sande des Tons in Wochen bzw. Monaten zum Niedersinken zu bringen, während der eigentliche Kolloidton zum großen Teil im Wasser verteilt bleibt. Je länger man das Absetzen ausdehnt, um so schärfer muß sich die kolloide Beschaffenheit der aufgeschwemmt bleibenden Tonsubstanz herausstellen.

Der Kolloidton wirkt im Tone gewissermaßen als Klebemittel, ähnlich wie Leim die feinen und feinsten Sande des Tons zusammenhaltend. Dazu gehört allerdings nach Th. Schlösing d. Ä., daß er im Gelzustand sich befindet; also nur der ausgeflockte Kolloidton übt diese Wirkung aus.

Wenn wir uns erinnern, daß ein anderes Klebemittel, der Stärkekleister, durch Frost seine klebende Wirkung völlig verliert,[2]) so möchten wir glauben, in einem ähnlichen Vorgang auch die Erklärung für die Frostwirkung auf den Ton sehen zu dürfen. Das kann aber nicht wohl der Fall sein. Denn man benutzt ja gerade das Durchfrieren des Tons, um ihm mit Hilfe genügender Anfeuchtung eine größere Bildsamkeit zu geben. Ein Vergleich mit der dauernden Veränderung des Stärkekleisters durch den Frost kann demnach nicht ohne weiteres zulässig sein.

Darüber, wie Frost auf Kolloidton wirkt, fehlen nun leider eingehende

---

[1]) Freilich nur in geringem Maße (bis rund 4% der ursprünglich vorhandenen Oberfläche) nachgewiesen. Es erscheint aber mindestens recht möglich, daß bei einem an die Aufarbeitung des Tons in der Technik angenäherten Verfahren, besonders bei Verwendung von viel Wasser, die Ergebnisse beim Gefrieren deutlicher werden würden. Solche Untersuchungen sind diesseits beabsichtigt, aber des Krieges halber leider noch nicht zur Ausführung gekommen.

[2]) A. Vogel, Ann. d. Phys. **64**, [137] 167 (1820). J. Sachs, Landw. Versuchsstat. **2**, 167 (1860).

Angaben; nur eine Mitteilung von Th. B. Osborne wird zu verwerten sein, nach welcher Ton, der gefroren und mit Alkohol behandelt war,[1]) sich, mit Wasser angerührt, sehr schnell absetzte und zum größten Teil das Vermögen verlor, sich längere Zeit in der Schwebe zu erhalten.[2]) Auch R. Warington stellte „Schrumpfen", Ausflocken des Tons durch Frost fest.[3]) Dieser muß den Kolloidton demnach ähnlich wie energische Ausflockung durch etwa einen Elektrolyten beeinflussen.

Wenn dies indes ohne weiteres gültig wäre, müßte Frost gerade die Bildsamkeit des Tons erhöhen, wie etwa ein Säurezusatz, und nicht umgekehrt den Zusammenhang, die Bildsamkeit zunächst vernichten. Die Verhältnisse werden also wohl verwickelter liegen.

Man dürfte zu weiterer Klarheit gelangen, wenn man den Vorgang der Temperatureinwirkung unter dem Nullpunkt für andere Kolloide zum Vergleich heranzieht. Die Kältewirkung führt hier zum Teil irreversible Veränderungen herbei, zum Teil aber auch nicht.[4]) H. Freundlich kommt im Anschluß daran zu der Überzeugung, daß es sich hier darum handelt, wie weit überhaupt das einmal ausgeschiedene Kolloid wieder in Lösung zu gehen vermag.[5]) Von unserem Kolloidton ist nun durch Th. Schlösing d. Ä.[6]) bekannt, daß er, auch nach Fällung mit Elektrolyten, durch Auswaschen wieder zur Aufschwemmung gebracht werden kann. Die gleichen Beobachtungen machte damit W. R. Williams, der hervorhebt, daß es dazu einer längeren Bemühung bedarf.[7]) Hiernach wird es wahrscheinlich sein, daß auch von Frost gefällter Kolloidton, wenn auch vielleicht nicht ganz leicht, wieder in den aufgeschwemmten, in den Solzustand überzugehen vermag. Dem entspricht auch die Tatsache, daß Tone, die man zum Zweck der Aufbereitung frieren ließ, nachher die erwünschte Bildsamkeit erreichen und daß gefrorener Ziegelton nach dem Auftauen gleich verarbeitet werden kann. Als eine zunächst festzuhaltende

[1]) Ob beide Behandlungsweisen getrennt für sich untersucht wurden, ist nicht sicher zu entnehmen, aber doch vielleicht wahrscheinlich.

[2]) Th. B. Osborne, Ann. Report Connecticut Agricult. Experim. Station 1887 (Neu-Haven 1888), zit. aus Forsch. Geb. Agrikulturphysik **11**, 77 (1888).

[3]) R. Warington, a. a. O. 35.

[4]) Vgl. u. a. N. Ljubavin, Journ. russ. phys.-chem. Ges. **21**, 397 (1889). A. J. A. Prange, Recueil trav. chim. Pays-Bas **9**, 126 (1890). F. Mylius u. E. Groschuff, Ber. Deutsch. chem. Ges. **39**, 116 (1906). O. Bobertag, K. Feist, H. W. Fischer, am gleichen Ort, **41**, 3675 (1908); ebendort A. Lottermoser 3976; A. Gutbier u. F. Flury 4259.

[5]) H. Freundlich, Kapillarchemie (Leipzig 1909) 369.

[6]) Vgl. dessen angeführte Arbeiten.

[7]) W. R. Williams, Forsch. Geb. Agrikulturphysik **18**, 246 (1895).

Tatsache bleibt somit der Eintritt einer in der Natur durch die Witterung in kürzerer oder längerer Zeit wieder verschwindenden, reversiblen Ausflockung des Kolloidtons durch Frost.

Die Frostwirkung auf Kolloide entspricht nun weiter in ihrer Wirkung nach H. W. Fischer[1]) dem Austrocknen. Das gibt einen weiteren Beleg dafür, daß Frost auf Ton einen wieder zu beseitigenden, einen reversiblen Einfluß ausübt; denn dies gilt von der Wirkung des Austrocknens auf den Ton wie bekannt auch.

Die soeben erwähnte Ähnlichkeit zwischen Frost und Austrocknen muß aber auch die Wirkungen in Erinnerung bringen, die man für die Schädigung lebender Pflanzen durch Frost unter anderen geltend gemacht hat: das Austrocknen als Folgeerscheinung des Frostes. Und hierdurch wird auch die Wirkung des Frostes auf Ton uns klar vor Augen treten.

Krümelbildung als Folge des Gefrierens.

Ton wird, mag sich sein Kolloidton nun zuvor im nicht ausgeflockten, im Solzustande befinden, oder bereits mehr oder minder zusammengeballt sein, durch Frost in dem Sinne beeinflußt werden, daß die Ausflockung verstärkt wird und demnach, Th. Schlösings d. Ä. Ansicht entsprechend, auch die Fähigkeit des Kolloidtons steigt, die Bodenteilchen zusammenzukleben. Ähnlichen Anschauungen neigt R. Warington zu.[2]) Lediglich Steigerung der Bildsamkeit des Tons müßte die Folge sein, wenn das Gefrieren nicht noch verschiedene andere Folgeerscheinungen zeitigte.

Indem er überall im feuchten Ton feinere und gröbere Eisnadeln entstehen läßt, wirkt der Frost mit ebensovielen Keilen trennend auf die zuvor mehr oder weniger eng aneinander liegenden, durch Kolloidton umhüllten und von ihm miteinander verklebten Sandteilchen des Tons. Kleine Eisnadeln werden dabei die Sandteilchen so weit voneinander entfernen, daß sie zwar auseinanderrücken, aber noch mit ihren Kolloidtonhüllen[3]) an verschiedenen Stellen zusammenhängen bleiben, wie solches beim geringen Auseinanderschieben mit Leim umhüllter größerer Stücke der Fall sein würde. Dies Verklebtbleiben der auseinanderrückenden Sandkörnchen[4]) durch den Kolloidton ist um so eher möglich, als durch den Frost ja die Ausflockung und damit die Klebrigkeit des Kolloidtons steigt. So entstehen ziemlich

---

[1]) H. W. Fischer, Koll.-Zeitschr. **8**, 294 (1911).

[2]) R. Warington, a. a. O. 41.

[3]) Vgl. über derartige Hüllen auch J. Dumont. Compt. rend. **140**, 1111 (1905); **142**, 345 (1906); **149**, 1087 (1909); **153**, 889 (1911).

[4]) Vgl. ähnliche Ansichten H. Rodewalds, Fühlings landw. Ztg. **57**, 457 (1908).

fest in sich zusammenhaltende Tonkrümel, die innerlich aber des Auseinanderrückens halber auch freien Raum aufweisen, der zunächst von Eis erfüllt ist. Große Eisnadeln aber trennen einzelne Teilchen, wesentlich aber ganze Gruppen von ihnen so weit ab, daß keine Verbindungsstücke von Kolloidton den ursprünglichen Zusammenhang mit der übrigen Masse noch erhalten können. Es würde hiernach der Frost den Ton in locker nebeneinander liegende Krümel trennen, die selbst aus mäßig voneinander entfernten, aber noch durch stark klebenden Kolloidton gut verbundenen Sandteilen des Tons bestehen. Dazwischen liegen die Eiskristalle.

Nun kommen zwei Möglichkeiten in Betracht: Entweder es kann während der Dauer des Frostes oder auch beim Auftauen Austrocknung, Verdunstung des die Eisnadeln bildenden Wassers von statten gehen. Oder dies ist nicht möglich, im Gegenteil findet durch Regen oder in anderer Weise noch Wasserzufuhr statt.

Im ersten Fall muß als Ergebnis um so eher eine für gewisse Zeit bleibende Versteifung des die Sandteilchen umhüllenden Kolloidtons vorhanden sein, als die Ausflockung desselben ja nach den oben erwähnten Erfahrungen nicht besonders schnell rückgängig zu machen ist, und durch Austrocknen noch verstärkt wird. Die Vereinigung der Sandteilchen zu Krümeln wird dadurch größere Festigkeit erhalten. Gleichzeitig aber wird an den Stellen, wo die größeren Eisnadeln sich befanden, die nun mehr oder weniger durch Auftauen mit folgendem Abfluß oder Verdunstung des Wassers verschwunden sind, der etwa an sie angrenzende Kolloidton am stärksten ausgetrocknet sein. Denn ihm ist, wie schon die Tatsache, daß hier große Eisnadeln lagen, beweist, an diesen Punkten besonders viel Wasser entzogen worden, und dann werden die zurückbleibenden größeren Hohlräume natürlich auch weiterhin die Austrocknung der an sie angrenzenden Oberflächen fördern. So wird hier der Kolloidton einer Austrocknung unterliegen, die neues Ankleben der einzelnen Krümel an andere Krümel erschwert bzw. ganz verhindert. Diese derart abgeleiteten Anschauungen decken sich auch völlig mit dem tatsächlichen Verhalten gefrorenen Tons, der dann Gelegenheit hatte, Wasser zu verlieren. Er zerfällt in Krümel.

Findet dagegen im Anschluß an den Frost kein Austrocknen statt, oder ist gar die Zufuhr größerer Feuchtigkeitsmengen gegeben, so wird die krümelbildende Frostwirkung nur kürzere Zeit vorhalten. Denn, da die Beeinflussung des Kolloidtons durch das Austrocknen unterbleibt, werden die einzelnen, durch Frost entstandenen Krümel wieder aneinander kleben, bei größerer Feuchtigkeit aber wohl gar ineinander verfließen,

und der durch Frost erzielte Ausflockungszustand des Kolloidtons wird bald unter dem Einfluß des vielen Wassers wieder verloren sein.

Die Angaben, die z. B. F. Senft über den Einfluß der Witterung auf das Auftauen gefrorenen Tons macht,[1]) geben die näheren Beispiele. Er sagt: „Merkwürdig ist, daß die ganz von Wasser durchdrungene Tonsubstanz in krümelige, nur wenig klebende und formbare Erde zerfällt, sobald das in ihr befindliche Wasser ganz gefriert, eine Erscheinung, die jedenfalls dadurch hervorgebracht wird, daß das zwischen den einzelnen Tonteilchen befindliche Wasser bei seiner Eiskristallbildung diese Teile auseinandertreibt. Tritt alsdann ganz allmählich Tauwetter ein, so behält die Tonmasse die durch Frost erhaltene, mulmige Beschaffenheit; erscheint aber das Tauwetter plötzlich unter Begleitung von starken Regengüssen, dann wird die Tonmasse in einen Schlammbrei umgewandelt." — Zur weiteren Verdeutlichung der soeben gegebenen Erklärungsversuche mag darauf hingewiesen werden, daß es leicht gelingt, kleinere, feuchte Tonbälle aufeinander gehäuft so abtrocknen zu lassen, daß sie untereinander wenig oder keinen Zusammenhang zeigen, während jeder einzelne innerlich noch als zähe Tonmasse zusammenhält.

Quellen und Schwinden des Tons.

Bevor ich die Besprechung des Tons verlassen kann, ist noch einer eigentümlichen Eigenschaft desselben zu gedenken, die sich in doppelter Weise äußert: des Schwindens beim Eintrocknen und des umgekehrten Vorgangs beim Befeuchten, des Quellens.

Vom Quellen des Kolloidtons weiß E. W. Hilgard zu sagen, daß dieser, getrocknet, beim stärkeren Befeuchten sehr lebhaft (with great energy) schwillt;[2]) und entsprechend vermindert er selbstverständlich seine Ausdehnung beim Austrocknen, er schwindet. Von dem unserem Kolloidton aus einleuchtenden Gründen nahe stehenden „Schlamm" (— nach Fadejeff-Williams) teilt H. Puchner mit, daß er unter „enormer Schwindung" „manchmal bis zu glasharter, steinartiger Beschaffenheit" austrockne.[3])

Ähnlich quillt der natürliche Ton bei Wasseraufnahme, nur entsprechend geringer. Immerhin konnte A. R. v. Schwarz bei einem Diluvialton aus dem Wienerwalde in solchem Falle eine Volumvermehrung auf das

[1]) F. Senft, Tonsubstanzen (Berlin 1879) 35. Br. Kerl, Handb. ges. Tonwarenindustrie, 3. Aufl. (1907) 141.

[2]) E. W. Hilgard, Soils (Neuyork 1906) 61.

[3]) H. Puchner, Intern. Mittlg. Bodenk. 3, 202 (1913).

Anderthalbfache feststellen.[1]) Das Schwinden des stark bildsamen Tons ist bekanntlich für die ganzen Tonwarengewerbe von der höchsten Wichtigkeit, da es Formänderungen und Rissigwerden der naß hergestellten Gegenstände zur Folge haben kann.

Auch hier wird als Ursache der Gehalt an Kolloidton anzusehen sein, der ja, wie schon im Anschluß an E. W. Hilgard erwähnt werden konnte, die Fähigkeit, bei Anfeuchtung zu quellen, im besonders hohen Maße besitzt. Wird gewöhnlicher trockener Ton, in welchem die feinen und feinsten Sande von Hüllen ausgeflockten Kolloidtons umgeben sind, angefeuchtet, so wird einmal ein Quellen dieser Kolloidtonhüllen eintreten und schon hierdurch der Ton an Ausdehnung zunehmen. Dann aber werden bei der Neigung des Wassers, sich an Oberflächen auszudehnen, auch alle Sandteilchen des Tons sich an ihrer Oberfläche mit Feuchtigkeit benetzen, wodurch gleichfalls eine weitere Ausdehnung herbeigeführt werden muß, indem die Körnchen auseinanderrücken. Wenigstens hat M. Whitney auch bei reinem, zusammengepreßtem Sande feststellen können, daß er sich bei Benetzung ausdehnte.[2]) Die gleiche Beobachtung liegt, augenscheinlich unabhängig aufgefunden, von E. Wollny[3]) vor.[4])

Was das besondere Verhalten des Tons bei der Quellung anbelangt, so sei wieder daran erinnert, daß er sich aus Kolloidton und aus feinen und feinsten Sanden zusammensetzt. Diese letzteren werden sich, wenn der Boden befeuchtet wird, nur ihrer gegenseitigen Lage nach verändern, wie soeben erwähnt wurde. Ihre aus Kieselsäure oder auch aus anderen Gesteinstrümmern bestehende Substanz kristalliner Zusammensetzung nimmt am Quellungsvorgang nicht teil. Wohl aber muß der Kolloidton quellen. Beim Quellungsvorgang findet nun ganz allgemein eine Volumkontraktion, eine Verdichtung statt, wenn man den von dem ursprünglichen trockenen Körper und von dem von ihm aufzunehmenden Wasser beanspruchten Raum vergleicht mit dem Raum, den der Körper nach der Wasseraufnahme, also in gequollenem Zustande, einnimmt.[5]) Oder mit anderen Worten: Der trockene Körper und das Wasser, das er beim Quellen aufnehmen kann, beanspruchen getrennt

[1]) A. R. v. Schwarz, Vergl. Vers. physikal. Eigensch. versch. Bodenarten (Wien 1878) 51. Referat in: Forsch. Geb. Agrikulturphysik **2**, 164 (1879).

[2]) M. Whitney, Amer. Journ. Agr. Science **7**, 85 (1893).

[3]) E. Wollny, Forsch. Geb. Agrikulturphysik **20**, 26 (1897/98).

[4]) Angaben über das Quellen von Sandschichten auch bei W. Spring, Bull. Soc. Belg. Géol. **17**, Mémoires 21 (1903).

[5]) Vgl. Ch. Lüdeking, Ann. d. Phys. **35**, 552 (1888); H. Rodewald, Zeitschr. physik. Chem. **24**, 193 (1897).

einen größeren Raum, als wenn sie im gequollenen Körper vereint sind.[1]) Der gequollene Körper erweist sich dagegen dem trockenen Körper allein gegenüber natürlich als stark ausgedehnt.

Die oben erwähnte Tatsache der Verdichtung bei der Quellung wird nun wahrscheinlich nicht ohne Bedeutung für die Durchlässigkeit gequollenen Tons für Wasser sein, die ja bekanntlich sehr gering, praktisch wohl fast gleich Null ist.

Doch kommt noch ein weiterer Umstand in Betracht. Wenn im praktischen Leben die Undurchlässigkeit von Tonschichten festgestellt wird, so handelt es sich zumeist um Fälle, in denen die Ausdehnung des Tons bei der Quellung nicht unerheblich behindert ist. Dann tritt aber der Fall ein, daß auf dem Ton lastender Druck je nach seiner Größe mehr oder weniger die weitere Wasseraufnahme hindert und den Ton so gegen Wasser undurchlässig macht. Ebenso wie man aus weitgehend gequollenem Ton durch starke Drucke wenigstens gewisse Mengen von Wasser auspressen kann,[2]) wird bei der noch stattfindenden Quellung ein entsprechender Druck die Aufnahme eben dieser Wassermengen hindern,[3]) die aus stark gequollenem Ton durch ihn ausgepreßt werden würden.[4]) Die Wirkung des Druckes, unter dem Ton steht, auf den Vorgang der Wasseraufnahme geht entsprechend sogar so weit, daß nach Ermittelungen W. Springs[5]) in seiner Ausdehnung beim Quellen völlig gehinderter Ton absolut kein Wasser aufzunehmen vermag, wogegen wassergesättigter, aber nicht unter Druck stehender Ton noch sehr kleine Wassermengen durchläßt.[6]) Ganz ähnliche Beobachtungen liegen schon aus älterer Zeit von W. R. Williams vor,[7]) der übrigens fand, daß von gröberen Sandteilen befreiter Ton beim Quellen dünnere Glasplatten zu brechen vermag. Wir werden demnach

[1]) Dies konnte W. Spring gerade für Ton beweisen, Ann. Soc. Géol. Belg. **28**, Mémoires 119 (1900/01). Die Zusammenziehung betrug für Ton von Andennes und Wasser 2 fürs Tausend.

[2]) W. Spring, a. a. O. 123.

[3]) Derselbe, Ann. Soc. Géol. Belg. **28**, Mémoires 120 (1900/01).

[4]) J. Reinkes Versuche mit quellenden Algen (Laminaria) zeigen ebenfalls, daß die Quellung durch auf der quellenden Substanz lastenden Druck, je nach dessen Größe, zum Stillstand gebracht wird; J. v. Hansteins botan. Abhandl. **4**, 49 (1879).

[5]) W. Spring, Ann. Soc. Géol. Belg. **28**, Mémoires 117 (1901). Naturwiss. Rundschau (1902) 537.

[6]) Derselbe, ebenda **29**, Mémoires 45 (1901/02). Es erscheint mir zweifelhaft, ob W. Spring bei diesen Versuchen den starken Einfluß mancher unter Umständen vorhandener Elektrolyten auf Quellung und Durchlässigkeit genügend berücksichtigte.

[7]) W. R. Williams, Forsch. Geb. Agrikulturphysik **18**, 268 (1895).

bei der Frage: Undurchlässigkeit feuchten Tons für Wasser? der Möglichkeit für den Ton, sich auszudehnen, keine geringe Bedeutung beilegen dürfen und besonders bei Versuchen diesem Umstande weitgehend Rechnung zu tragen haben, was bislang kaum geschah. Die Tatsache, daß man dort, wo man Undurchlässigkeit anstrebt, nur schwach feuchten Ton sehr fest stampft, würde auch in dieser Richtung liegen, da man so auch seine weitere Ausdehnung hindert.

Endlich ist mit der Wahrscheinlichkeit zu rechnen, daß auch die Quellung des Tons durch Chemikalien beeinflußt wird. Bei Gelatine konnte ermittelt werden, daß Salze, welche eine Zunahme der Zähigkeit derselben herbeiführten, welche also das Gelatinieren, die Ausflockung, begünstigten, die Quellung benachteiligten.[1] Da nun auch bei Kolloidton sehr wahrscheinlich die Zähigkeit durch ausflockende Chemikalien und überhaupt ausflockende Wirkungen vermehrt wird, kann man annehmen, daß diese dann auch die Quellung vermindern bzw. ihrem Fortschreiten Hindernisse in den Weg setzen.

Für Ton liegen auf diesem Gebiete Versuche leider noch nicht vor, die einigermaßen deutliche Ergebnisse aufwiesen. Auch wird die große Schwierigkeit, reinen Kolloidton herzustellen, zunächst kaum Änderungen in dieser Hinsicht erwarten lassen. Immerhin ist es vielleicht zulässig, als Beispiel die Ergebnisse bei einem anderen, negativ geladenen Bodenkolloid, dem Humus, anzuführen, welche G. Keppeler[2]) erhielt. Er vermochte bei gleichem Druck aus Rohtorf nach Zusatz von

Chlormagnesium die zweieinhalbfache
Alaun ein wenig mehr und von
Salzsäure die dreieindrittelfache Menge Wasser

auszupressen, wie ohne Zusatz. Die Ergebnisse entsprechen auch annähernd den theoretischen Erwartungen, indem zweiwertige positive Ionen schwächer wirken, als dreiwertige, und das H.-Ion eine besonders starke Wirkung auszuüben vermag. Es ist nicht unwahrscheinlich, daß ähnliche Verhältnisse auch beim Ton vorliegen werden. Eine gewisse Bestätigung dieser Ansicht gibt eine Mitteilung von A. V. Bleininger und C. E. Fulton,[3]) die sich allerdings auf das Gegenstück der Quellung, die Schwindung, bezieht: Ein Säurezusatz zum Ton vermindert gewöhnlich die Trockenschwindung, während die Alkalien sie vermehren. Da

---

[1]) H. Freundlich, Kapillarchemie (Leipzig 1909) 513.

[2]) G. Keppeler, Sitzungsber. Zentral-Moorkommission, 16. Dez. 1912, Referat zu 4, Sonderdruck (1913) 4.

[3]) A. V. Bleininger und C. E. Fulton, Transact. Amer. Ceram. Soc. **14**, 827 (1913).

nun die Schwindung das Spiegelbild der Quellung ist, so darf man sagen, daß alles, was sie vermindert, auch die Quellung vermindert, so daß hiernach die Ergebnisse der amerikanischen Forscher eine Verminderung der Quellung bei Säurezusatz, dagegen eine Vermehrung durch Alkali als wahrscheinlich erscheinen lassen würden. Auch die Versuche von G. C. Given haben gezeigt, daß Gegenwart von Hydroxylionen selbst neben Kalziumion die Schwindung von Ton verstärkt.[1])

Wie übrigens bei der Quellung zum Teil ganz außerordentliche Druckwirkungen ausgeübt werden können,[2]) wenigstens im Beginn und den ersten Zeiträumen derselben, so ist es auch bei der Austrocknung. Die diesbezüglichen Versuche sind wesentlich an Gelatine ausgeführt worden, werden indes mit gewissen, vielleicht nicht geringen Änderungen wohl auch auf das Quellen des Tons zu übertragen sein. Bei der Austrocknung von Gelatinegelen war die Zusammenziehung teilweise so stark, daß dünne Glasplatten gebogen und auch zerbrochen wurden,[3]) ja es wurden sogar aus stärkeren Glasplatten muschelige Glasbrocken herausgerissen.[4]) Auch für das Schwinden des Tons werden wir demnach, analog wie für sein Quellen, nicht ganz geringe Kraftäußerungen erwarten dürfen. Im Agrikulturchemischen Institut der Universität Göttingen konnten G. C. Given und ich weiter beobachten, daß gereinigter Ton beim Schwinden sorgfältig gereinigte Bechergläser zerdrückte, und aus deren Glas muschelige Glasstücke von Quadratzentimetergröße herausriß. Die Wirkung war, wie schon erwähnt, so sonderbar das vielleicht zuerst erscheinen mag, bedeutend stärker bei kalkgesättigtem Ton, als bei gereinigtem, aber nicht mit Ätzkalk behandeltem. Die Wirkung der Hydroxylionen tritt also selbst gegenüber einem zweiwertigen, als stark fällend bekanntem Ion noch merkbar hervor. W. Spring berechnet übrigens den von gewöhnlichem Ton, nicht Kolloidton, beim Quellen ausgeübten Druck auf nicht ganz 2 kg pro Quadratzentimeter,[5]) wobei nicht gesagt ist, wieweit Salze die Quellung des Tons beeinflußten. Nach J. M. van Bemmelen ist die Aufnahme des Wassers durch Ton vom Wasserdampfdruck und — wenig — von der Temperatur abhängig, so weit es sich um das adsorbierte Wasser handelt.[6]) Die von ihm untersuchten Tone vermochten derart bis

[1]) G. Given, Inauguraldissertation, Göttingen (1915) 23.

[2]) Die alten Ägypter benutzten bekanntlich schon die von quellendem Holz entwickelte Druckkraft, um Steine zu sprengen.

[3]) H. Freundlich, a. a. O. 503.

[4]) Wo. Ostwald, Grundriß der Kolloidchemie, 1. Aufl. (Dresden 1909) 386.

[5]) W. Spring, Ann. Soc. Géol. Belg. **28**, Mémoires 126 (1900/01).

[6]) J. M. van Bemmelen, Zeitschr. anorg. Chem. **42**, 314 (1904).

31,6 % Wasser aufzunehmen — wenn bei 100 ⁰ getrockneter Ton untersucht wurde, — ohne daß sie sichtbar feucht erschienen. Die Adsorption von Wasser dehnte sich über zwei bis drei Monate aus. In flüssigem Wasser wurde dann noch eine erheblich größere Wassermenge aufgenommen, so daß die gesamte, von einer Tonsorte aufgenommene Wassermenge sich auf 87% vom Gewicht des bei 100 ⁰ getrockneten Tons belief. Noch mehr Wasser als diese tonreiche, bildsame Erde aus Surinam vermochte ein frischer, schwerer Tonboden aus einem trocken gelegten niederländischen Meeresteil aufzunehmen, nämlich 98,5 %. Einige andere, schwere Tonböden gaben nur wenig abweichende Zahlen. Auch G. Schübler[1]) erhielt schon für Tonarten 61—70% für die wasserhaltende Kraft, was in Anbetracht der abweichenden Methodik den Zahlen van Bemmelens nahe kommen dürfte.

Der sich auch hier kennzeichnende Unterschied in der Wasseraufnahme von Ton aus gesättigtem Wasserdampf bzw. aus flüssigem Wasser hat bei der Gelatine als das „v. Schroedersche Problem" viel Behandlung gefunden. Auch für die Gelatine liegt das Quellungsmaximum in flüssigem Wasser an einer völlig anderen Stelle als das Maximum im Wasserdampf.[2]) Versuche, dies Verhalten zu klären, haben wohl noch kein völlig endgültiges Ergebnis gezeitigt. Es scheint aber, als wenn beide bisher vorliegenden Erklärungsversuche[3]) dahin führen, daß der wirkliche Gleichgewichtszustand erst beim Quellen in Wasser erreicht werden kann, und das Quellen im Dampfraum nur ein scheinbares Gleichgewicht herbeiführt.

Zum Schluß noch die Bemerkung, daß die Fähigkeit des Tons zu quellen auch gleichzeitig den Beweis dafür bietet, daß wir es bei ihm oder besser gesagt beim Kolloidton wirklich mit einem Tröpfchenkolloid zu tun haben.[4]) Vielleicht ist hier noch die Beobachtung von S. Exner einzureihen, daß Tonschlamm eine, wenn auch nicht meßbare Diffusion in Wasser zeigte,[5]) was nach theoretischen Erwägungen[6])

[1]) G. Schübler, Schweigg. Journ. Chem. **37** (N. R. **7**) 47 (1823).

[2]) P. von Schroeder, Zeitschr. phys. Chem. **45**, 109 (1903).

[3]) K. Gericke, Inauguraldissertation Erlangen (1914) 55 u. f., sucht die Beobachtungen Schroeders durch Oberflächenverschiedenheitswirkungen zu erklären; L. K. Wolff und E. H. Büchner, Proceed. Kon. Akad. v. Wet. **21**, 988 (1912/13); **22**, 1323 (1913/14) meinen neuerdings, sie als unsicher ansehen zu müssen.

[4]) W. Spring, a. a. O.

[5]) S. Exner, Ber. d. Wiener Akad. d. Wiss. **56** (2), 116 (1867).

[6]) Für Aufschwemmungen und noch mehr für eigentliche Kolloide hängt die Diffusion und der sich aus ihr bei geeigneter Versuchsanordnung ergebende osmotische Druck wie für Gase bzw. Salzlösungen von der Anzahl der Teilchen in der

zu erwarten ist. Auch E. W. Hilgard spricht von Diffusion eines Tonbodens.[1])

Nach der vorstehenden Darlegung der Eigenschaften des Tons und der Aufschwemmungen bildenden Sande wird man es verstehen, daß ich einem neuen Einteilungsversuch E. Ramanns nicht zustimmen möchte, wenn dieser „als Tone die ausgeflockten, als Letten die nicht ausgeflockten Ablagerungen sehr geringer Korngröße" bezeichnet.[2]) Hiernach müßte Ton, der seine Ausflockung verliert, zu Letten werden, dagegen Letten, der ausgeflockt wird, zu Ton. Daß durch derartige wechselnde Bezeichnung Vorteile zu erzielen sind, ist wahrscheinlich durchaus nicht sicher. Besser hält man sich wohl an den bisherigen Sprachgebrauch der Praxis, die „Letten" als sehr feinsandigen,[3]) sog. „Staub"-boden kennt, der sich durch Mangel an Bildsamkeit, bzw. durch deren geringeres Auftreten vom Ton unterscheidet. Wir hätten hier den „Letten" unter die Aufschwemmungen bildenden Sande einzureihen, die gar nicht, oder nur verschwindende Mengen von Kolloidton enthalten, während der eigentliche Ton durch deutliche Bildsamkeit[4]) bereits das Vorhandensein von Kolloidton verrät, den man dann in freilich noch schwierigem Verfahren auch nachweisen kann.

Ich wende mich nun nach der Einzelbesprechung der im Boden vorhandenen, wichtigen Kolloide der Darlegung ihrer Betätigung bei den verschiedenen landwirtschaftlich wichtigen Vorkommnissen zu.

Raumeinheit und von der Temperatur ab. Vgl. dazu die Literatur bei R. Zsigmondy, Kolloidchemie (Leipzig 1912) 39—43. Allerdings kann bei gröberen Aufschwemmungen durch „Mitnahme" der Teilchen seitens beigemengter Salze eine zu hohe Diffusion vorgetäuscht werden. Vgl. H. Picton, Journ. chem. Soc. **61**, 187 (1892).

[1]) E. W. Hilgard, Forsch. Geb. Agrikulturphysik **2**, 450 (1879).

[2]) E. Ramann, Zeitschr. deutsch. Geolog. Gesellsch. **67**, 295 (1915).

[3]) Z. B. C. Sprengel, Bodenkunde, 2. Aufl. 97, 168, 187, (1844); er bezeichnet „lettigen Ton" als dem Flottlehm wesensgleich. Ferner: A. v. Rosenberg-Lipinsky, Praktischer Ackerbau, 1 90; F. Senft, Steinschutt u. Erdboden (1867) 144, 256, 324; H. Gruner, Bodenkunde, 225 (Berlin 1896).

[4]) Die durch große Gehalte an Feinsand, „Schluff" ausgezeichneten Fließlehme u. dgl., über welche A. Atterberg berichtet — Intern. Mitt. lg. Bodenk. **2**, 24 u. f. (1912) — die ich aber als „lettig" bezeichnen würde, zeigten entweder gar keine Bildsamkeit, so die Schlufflehme und Mo-Schlufflehme, oder ihre Bildsamkeit war eine sehr geringe. Auch nimmt Atterberg nicht an, daß bei Kalkgehalt und daraus folgender Ausflockung nun diese lettigen Böden dem Ton mehr ähnlich werden, sondern vielmehr dem Löß; a. a. O. 26.

II. Die Kolloide des Bodens unter dem Einfluß der verschiedenen Natur- und Kulturkräfte.

Gelegenheiten zur Betätigung.

Über die Tatsache des Vorkommens der oben besprochenen Kolloide im Boden wird kaum noch eine Ausführung erforderlich werden. Dagegen muß es nun bedeutungsvoll sein, ob diese denn auch dort die Gelegenheit finden durch ihre besonderen Eigenschaften in irgendeiner Richtung wichtige Einflüsse auszuüben.[1])

Wir sind nun bislang leider wesentlich nur in der Lage, die gegenseitigen Einwirkungen der Bodenkolloide aufeinander und ihr Verhalten unter dem Einfluß dritter Faktoren in Aufschwemmungen zu prüfen. Elektrische Ladung der Teilchen, Ausflockungsvorgänge, und viele andere uns zu Schlußfolgerungen verhelfende Erscheinungen lassen sich noch nicht in der Masse des Erdbodens, wie er uns im Felde entgegentritt, beobachten ja, wir verfügen leider noch nicht einmal über Hilfsmittel, die Bodenstruktur festzulegen und näher zu untersuchen. Sogar die an sich noch sehr unzureichende Feststellung des sog. Porenvolumens im Erdboden kann bislang nur äußerst roh und unvollkommen ausgeführt werden, und mikroskopische Beobachtung des Gefüges etwa in der Weise, wie man in der Mineralogie Gesteinsdünnschliffe betrachten, vergleichen und optisch analysieren kann, ist trotz vielfacher Bemühungen noch nicht gelungen.

Nun ist freilich unzweifelhaft auch im Erdboden häufig genug mit dem Fall zu rechnen, daß zum wenigsten erhebliche Mengen kleiner und kleinster Teilchen desselben sich in Wasser schwebend, in untergetauchtem Zustande befinden, so daß hier ohne weiteres die Beobachtungen in Aufschwemmungen übertragen werden können. Denken wir etwa an nach heftigerem Regen oder bei der Schneeschmelze vom Acker ablaufendes Wasser, wie es Wasserfurchen

---

[1]) A. Mitscherlich, Bodenkunde 3. Aufl. 64 (1920).

mit sich führen, so bietet es häufig genau das gleiche Bild wie eine Bodentrübung, die etwa durch ein Kalksalz ausgeflockt werden kann. Es erscheint weiter wohl naheliegend, daß, da doch nur ein Teil des Wassers oberirdisch abfließt, eine recht erhebliche Wassermenge, die in gleicher Weise getrübt ist, durch gröbere und feinere Öffnungen in den Boden versinkt. Und da es für die Vorgänge der Tonausflockung und ähnliches selbstverständlich im wesentlichen gleichgültig ist, ob sie in einem Glaszylinder von ½ m Höhe und 5 cm Durchmesser oder in weit kleineren Räumen, von Zentimeter- oder Millimeterausdehnung und weniger, stattfinden, so ist nicht einzusehen, weshalb man der gedachten Erscheinung ihre Bedeutung für den Ackerboden absprechen sollte. Denn selbst sehr enge Kapillaren werden den Vorgang zwar in besonderer Weise zu beeinflussen vermögen, ihn indessen nicht ausschließen.

Weiter kommt hinzu, daß die Niederschläge nicht nur bei ihrem Versinken in den Boden Verhältnisse schaffen, die uns Bodenkolloide in völlig unter Wasser gesetztem Zustande darbieten, sondern daß schon jeder stärkere Regen oder jede Schneeschmelze wenigstens zeitweise die ganze Bodenoberfläche unter Wasser setzt, hier an vielen Orten auch für längere Zeit mit Bodentrübungen erfüllte Lachen zurücklassend. Und in ähnlicher Weise wirkt jede Überschwemmung wie auch die künstliche Bewässerung.

Doch nicht nur das auf der Oberfläche angesammelte und in den Bodenspalten und gröberen Kapillaren in die Tiefe sinkende Wasser bietet Verhältnisse, bei denen wir die Bodenteilchen in völlig in Wasser eingebettetem Zustand beobachten können. Wir müssen auch die feineren Kapillaren zur Betrachtung heranziehen und ebenso die Wasserhüllen, welche die kleineren und kleinsten Teilchen des Bodens bei Befeuchtung, zum Teil aber auch schon bei gelegentlichem Zusammenkommen mit Wasserdampf, um sich bilden. Auch im durchaus noch nicht mit Wasser weitgehend getränkten Boden geben die Wasserhüllen vieler Bodenteilchen den so äußerst feinen Bestandteilen der Bodenkolloide[1]) Gelegenheit dazu, in Wasser aufgeschwemmt ihre Wirkungen auszuüben. Schon die einfache Tatsache, daß die Bodenbakterien in überwiegender Zahl doch notorisch an das Leben in Flüssigkeiten angepaßte Organismen sind, wie ja ihre zur Bewegung dienenden Geißeln dartun, muß den Zweifel an der Be-

---

[1]) Vgl. die Wiedergabe der bezüglichen Größenabmessungen oben 105.

deutung von im Wasser verlaufenden Vorgängen für den Boden beseitigen. – Andererseits sind doch Feststellungen zu verzeichnen, welche eine restlose Übertragung der in Aufschwemmungen beobachteten Erscheinungen auf den Erdboden verbieten. So die von G. Given gemachte Beobachtung, daß mit Ätzkalk gesättigter Ton, der 1,25% seines Trockengewichts CaO aufgenommen hatte, und entsprechend nach Gefrieren in lockerem Zustande die günstige Struktur gekalkten Erdbodens aufwies, doch, nachdem das Kalkwasser der Sättigungsbehandlung nur einmal mit reinem Wasser kurz abgewaschen worden war, in reinem Wasser verteilt tagelang im Schweben blieb.[1] Ähnlich stellte umgekehrt G. Hager fest, daß Erdboden mit hohem Gehalt an Eisenhydroxyd zwar ausgezeichnet in Wasser ausflockte, dagegen eine schlechte, schmierige Struktur aufwies, und erst nach ausgiebiger Behandlung mit Kalk zu günstiger physikalischer Beschaffenheit gelangte.[2]

Vielleicht ist es zur Erklärung statthaft, mit allem Vorbehalt auf die Erscheinungen bei den Primär- und Sekundärteilchen anderer Kolloide hinzuweisen. Zweifellos ist der Beginn einer Zusammenballung in Kolloidflüssigkeiten die Bildung von Sekundärteilchen. Aber sie führt noch nicht zur Ausflockung, und bis eine solche eintritt, können noch mannigfache Vergröberungen der Einzelteilchen vor sich gehen[3]. So könnte man vielleicht annehmen, daß bei Sättigung von Ton mit Kalkwasser und folgendem kurzen Auswaschen die durch Kalziumhydroxyd gebildeten Sekundär- und Tertiär- usw. Teilchen bestehen bleiben, und entsprechend auch Kalk gebunden halten, während nur der Zusammenhalt der viel gröberen Flocken zerstört wird, weil für sie allein die von G. Given[4] und später genauer von S. E. Mattson[5] beobachtete enge Konzentrationsspanne, in welcher $Ca(OH)_2$ aufteilend wirkt, durch das Auswaschen erreicht ist. Bei dem niedrigen spezifischen Gewicht des Tones wird aber dieser Umstand bereits zur Bildung einer Aufschwemmung ausreichen. Wird indes nun durch Frost der schwebende Tonbrei ausgeflockt, das auftauende Wasser abgesaugt und die Masse getrocknet, so muß wieder überall die Konzentration in dem Tonstück erreicht werden, welche völlige Ausflockung bedingt. Daher ist jetzt günstiges physikalisches Verhalten zu erwarten und tritt auch ein.

Bei dem anderen Fall ist zu bedenken, daß es sich nicht wie bei der Wirkung $Ca(OH)_2$ um eine Elektrolytfällung handelt, sondern um gegenseitige Fällung zweier Kolloide, wenn Eisenhydroxyd und Ton im

[1] G. Given, Inaugural-Dissertation Göttingen, 16, 21 (1915).
[2] Mitteilung a. d. Versammlg. d. Verbandes landw. Versuchsstat. (Hamburg 1921).
[3] R. Zsigmondy, Kolloidchemie, 2. Aufl. 17 (1918).
[4] a. a. O. 11.
[5] S. E. Mattson, Inaug.-Diss. (Breslau 1921). Vgl. Kolloidchem. Beihefte. 1922.

Erdboden aufeinander wirken. Es ist nicht ausgeschlossen, daß die in Aufschwemmung durch das Eisenhydroxyd gebildeten großen Flocken eben wegen der außerordentlich großen, die Teilchen förmlich zusammenklebenden Wirkung der Eisenverbindung, bei engerem Sichaneinanderlagern, wie dies im Boden der Fall ist, auch aufeinander klebend wirken, und so eine ungünstige Beschaffenheit herbeiführen, wenn nicht durch Kalkzugaben diese Fähigkeit des Eisenhydroxyds beschränkt wird. Vermutlich dürfte Austrocknen des Eisenhydroxyds ähnlich wirken, da es weitere Vergröberung der Teilchen herbeiführt.

Natürlich bin ich mir durchaus klar, daß erst weitere, sorgfältige Forschung hier wirkliche Klarheit bringen wird. Aber es sei auch beachtet, daß Ausflockung von Tontrübungen zwar ein Beispiel für kolloide Zustandsänderungen darstellt, uns jedoch keineswegs das unabänderliche Schema bietet. Quellungs- und Schwindungsvorgänge im Erdboden, und die Adsorption,[1]) dies für Land- wie Forstwirtschaft unendlich wichtige Problem, stehen gleichfalls der Kolloidchemie zur Behandlung zu. Adsorptionsvorgänge treten aber ebenso an trockenen Bodenteilchen auf, wie an unter Wasser befindlichen oder feuchten. Der Gang des Rodewald-Mitscherlichschen Hygroskopizitätsverfahrens[2]), wie auch die Erscheinung des „Toteggens" des Ackerbodens[3]) sind hierfür beweisend. Ziehen wir noch die Heilwirkungen von Gips auf Schwarzalkaliböden heran,[4]) so dürfen wir wohl mit Recht die Anschauung hegen, daß es den Kolloiden im Boden nicht an Gelegenheit zur Betätigung fehlt.

Auch die Ansicht, daß die Bodenkolloide im Boden kaum im Zustande der kolloiden Lösung, als Sole, sondern weitaus mehr als Gele, wenn nicht gar ausschließlich als solche eine Rolle spielen, muß hier kurz berührt werden. Daß reichliche Wassermengen aus dem Erdboden Kolloide auswaschen, lehren Beobachtungen von A. D. Hall,[5]) W. Thaer[6]) sowie S. Johannson[7]). Da nun zweifellos schon vor der vollendeten Auswaschung[8]) starke Adsorption die Kolloide wieder festzulegen sucht, darf man jedenfalls auch die Solbildung als Grundlage mancher Vorgänge im Boden ansehen.

[1]) Früher und zum Teil auch noch heute als „Absorption" bezeichnet. Auch der Ausdruck „Sorption" findet sich.

[2]) Über dessen Bedeutung für die Erforschung unseres Bodens vgl. u. a. P. Vageler, Fühlings Landw. Ztg. 61, 73 (1912); Th. Remy, Landw. Jahrb. 49, 152 (1916)

[3]) Vgl. unten 247 und folgende.

[4]) Vgl. auch unten 366/367 und folgende.

[5]) Vgl. unten 631 und folgende.

[6]) W. Thaer, Preisschrift Göttingen, 82, 108 (1910).

[7]) Zit. nach Intern. Mitteilg. Bodenk. 3, 589 (1913).

[8]) Natürlich kann man derart nicht den ganzen Gehalt des Bodens an in den Solzustand übergehenden Kolloiden ermitteln. Zwar stellte M. Böttcher — Disser-

Einfluß der Naturkräfte.

A. Witterung.

1. Der Frost.

Daß der Frost ein wesentlicher Helfer des Landwirts bei der Bodenbearbeitung zu sein vermag, ist schon lange bekannt.[1]) Bereits ein alter Erfahrungssatz der Praxis besagt: „Wenn der Boden nicht ausfriert, wird die Ernte nicht reich."[2]) Ebenso ist indes dem Landwirt die Tatsache geläufig, daß nur schwerere, besonders tonreiche Bodenarten in dieser günstigen Weise durch den Frost beeinflußt werden. Leichte, lockere oder gar schüttige Böden werden nicht erheblich durch ihn verändert.[3]) Denn die schon früher angenommene Zersprengung von Gesteinsteilchen[4]) und die dadurch verursachte Verwitterungsbeschleunigung[5]) wird zwar aller Wahrscheinlichkeit nach tatsächlich stattfinden, aber doch nur sehr langsam, und selbst durch

tation Dresden, 69 (1908) — fest, daß nach sehr vielfachem Auswaschen von Ton mit großen Wassermengen Verflüssigungsfähigkeit, Aufschlämmbarkeit und Aufnahmevermögen desselben gelitten hatte, also Kolloidton ausgewaschen war, wie, abgesehen von den oben genannten Forschern, auch E. C. J. Mohr eine Ausschlämmung kolloiden Tons annimmt — Bull. départ. ágric. Indes Néerland 47, (Geol. agron 9) 28 (1911). — Aber naturgemäß wird man einmal ohne ganz besondere Vorbereitungen in einer Bodenauszugsprobe nur sehr wenig Bodenkolloide vorfinden, was zum Überfluß von W. Thaer (a. a. O. 108) hervorgehoben worden ist. Man versuche nur, eine Lösung von kolloider Kieselsäure oder eine kolloide Farbstofflösung mit Erdboden durchzurühren oder durch Erdboden durchzufiltrieren, um den Gedanken von K.K. Gedroiz, durch Untersuchung wässeriger Bodenauszüge die Menge der im Solzustande vorhandenen Bodenkolloide zu ermitteln, als nicht verwertbar kennen zu lernen. Es kommt hinzu, daß sich aus den nur kurz in deutscher Wiedergabe zugänglichen Mitteilungen dieses Forschers (Journ. exper. Landw. 13, 412 [1912]) nicht ersehen läßt, ob die von ihm untersuchten Böden nach Wassergehalt, löslichen Salzen, Kohlensäure und dergleichen überhaupt Kolloide im Solzustand enthalten konnten.

Endlich aber scheint trotz mancher gegenteiligen Hinweise die Anschauung nicht verschwinden zu können, daß die Bodenkolloide in großen Mengen vorhanden sein müßten, um erhebliche Wirkung äußern zu können. Ich glaube daran erinnern zu dürfen, daß Th. Schlösing d. Ä. vor ungefähr vierzig Jahren schon den Gehalt schwersten Tons an Kolloidton auf nur 1,5% bemaß.

[1]) Eine alte Angabe darüber bei F. Home, Grundsätze d. Ackerbaues, übers. J. C. Wöllner, 2. Aufl. 145 (1763).

[2]) W. Schumacher, Physik d. Bodens (1864) 274.

[3]) Ebendort.

[4]) Auch Ton, wie er in der Erde vorkommt, desgleichen Humusstoffe in größeren Mengen, wie bei Moor, würden „Gesteine" sein.

[5]) W. Schumacher, a. a. O.; ferner A. Mitscherlich, Fühlings landw. Ztg. 51, 497 (1902).

feinere Methoden nur bei leicht auf diesem Wege angreifbaren Gesteinsarten experimentell nachweisbar sein.[1]) Die weiteren vorteilhaften Frostwirkungen aber sind, wenn sie wenigstens so lange erhalten bleiben sollen, daß der Landmann oder Forstwirt davon Nutzen verspürt, besonders an das Vorhandensein erheblicherer Mengen von Bodenkolloiden gebunden. Auf leichtem, kolloidarmem Boden schwindet die vorteilhafte Frostwirkung schnell, wenn sie sich überhaupt zeigte. Ferner ist ihr Auftreten auch noch dadurch beschränkt, daß Frost auf Verbesserung des Bodengefüges natürlich nur dort einen recht vorteilhaften Einfluß zu äußern vermag, wo dasselbe nicht bereits durch andere Umstände ein günstiges geworden ist.[2]) Es wird hiermit so stehen, wie mit der Wirkung mancher Bestellungsmaßnahme, die auf gewöhnlichem Boden und unter den üblichen Umständen nützlich, in dem Fall aber unnötig und fast ganz erfolglos werden kann, wo etwa Schwarzbrache vorausgegangen ist und der Acker daher schon eine vorzügliche Beschaffenheit angenommen hat.

Demnach kann es uns nicht überraschen, daß hier und da auch der Frostwirkung geringere Bedeutung zugesprochen wird. Das gilt naturgemäß zunächst für den leichten Boden, aber auch für schweren Boden unter besonderen Umständen. So wird aus dem Rheinland von J. Hansen berichtet, daß man die Tieffurche zu Rüben ohne merkbaren Schaden allgemein sehr spät gibt. Doch wird gleichzeitig diese Besonderheit dadurch erklärt, daß einmal die Fröste im Rheinland zumeist verhältnismäßig unbedeutend sind und zweitens durch starke Winterniederschläge leicht erhebliche Verschlämmung eintritt,[3]) welche etwaige günstige Wirkungen von Frösten beseitigt. Wo indes ausgiebige Fröste bei mitt-

---

[1]) P. Ehrenberg und G. Freiherr von Romberg, Journ. Landw. **60**, 73 (1913); R. Hoffmann, Landw. Versuchsstat. **85**, 126—128 (1914).

[2]) Vgl. ähnliche Ansichten bei J. Hansen, Landw. Jahrb. **37**, Ergänzungsb. **3**, 140 (1908). Besonders aber E. Wollny, Forsch. Geb. Agrikulturphysik **20**, 479 (1897/98).

[3]) J. Hansen, Erster und zweiter Bericht vom Dikopshof, Landw. Jahrb. **37**, Ergänzungsb **3**, 134 (1908), und **40**, Ergänzungsb. **1**, 83 (1911). Von den dort angeführten Feldversuchen ist wegen mangelhafter Übereinstimmung der Parallelernten das Jahr 1907 nach J. Hansens eigener Meinung ohne erhebliche Beweiskraft. Auch für das Jahr 1906 kommen nicht zu erklärende Besonderheiten vor. Es scheint fast, als ob die Fragestellung bei diesen Versuchen zu viel Fragen auf einmal zu lösen suchte. Von den späteren zwei Jahren blieb das eine wegen Mangels an Frost ohne Wert für ein Urteil, und das zweite Jahr, a. a. O. Seite 85, leidet wieder an so starker Bodenunausgeglichenheit der Einzelstücke, daß selbst bei Vereinigung der ersten und zweiten und andrerseits der dritten und vierten Behandlungsart die sich ergebende Differenz innerhalb des vierfachen wahrscheinlichen Fehlers liegt, also nicht für wirklich sichere Schlüsse verwendbar ist.

lerem bis schwererem Boden häufig sind, wird zumeist auch ihre Wirkung auf die Bodenstruktur von alters geschätzt.[1])

Wir haben jetzt darzulegen, wie sie zustande kommt. Dabei wird auf das über die Frostwirkung auf Ton Gesagte vielfach zurückzugreifen, aber auch noch manchen anderen Umständen Beachtung zu schenken sein.

Zunächst muß darauf hingewiesen werden, daß die aufteilende, zerkleinernde Wirkung des Frostes[2]) bei Kulturboden, sei es nun solcher des Waldes oder bewachsenes Ackerland, stark zurücktreten muß. Für Waldboden wird die zumeist vorhandene Streudecke ohnehin ein tieferes Eindringen des Frostes in den Mineralboden verhindern, während sie selbst allerdings in mäßigem Umfange der Aufteilung durch Frost unterliegt.[3]) Bei Ackerland aber spielt natürlich der Zustand des Bodens, ob im Herbst tief gepflügt oder in Stoppel liegend oder auch mit mehr oder weniger dichtem Pflanzenbestand versehen, eine sehr wichtige Rolle.

Dann werden wir zwischen den Bodenbestandteilen insofern einen Unterschied zu machen haben, als es sich um grobe oder um feine und feinste Gesteinstrümmer handelt.

Betrachten wir zunächst die Steine und Steinchen des Bodens. Sie sind je nach ihrer geologisch-mineralogischen Beschaffenheit in wechselndem Maße von Spalten und Rissen durchsetzt. In diesen Spalten wird sich, da die Steine in der Regel von Feuchtigkeit mehr oder weniger durchzogen in den Winter hineinkommen, das Wasser auch besonders angesammelt haben. Nicht nur der Umstand, daß es sich beim Übergang in den festen Zustand ausdehnt,[4]) sondern weit mehr noch das Ankristallisieren neuer Eisteilchen an die zuerst gebildeten Kristalle veranlaßt dann bei Frost die Bildung größerer Eisstückchen,[5]) welche sich dort, wo sie sich bilden und vergrößern, gewaltsam Bahn brechen.[6]) Nun ist aber

---

[1]) So u. a. in den alten Rübenbaugegenden Mitteldeutschlands; vgl. J. Hansen, a. a. O. 86.

[2]) Vgl. dazu auch L. Milch, Grundl. d. Bodenkunde (1899) 83.

[3]) Vgl. P. Ehrenberg und G. Frhr. von Romberg, a. a. O.

[4]) Hierauf weist u. a. schon H. Girard, Grundlag. d. Bodenkunde (Halle 1868) 249 hin.

[5]) Nach S. Johansson wirkt auch noch die Ansaugung von Wasser aus tieferen Bodenschichten durch den infolge des Frostes trocken gewordenen Boden, zit. nach Intern. Mittlg. Bodenk. **3**, 589 (1913); **6**, 36 (1916). Ich möchte dieser Ansicht beitreten, aber auch das Temperaturgefälle von tieferen Bodenschichten zur gefrorenen Oberfläche hin als maßgebend ansehen.

[6]) A. Penck, Sitzungsber. K. preuß. Akad. Wiss. **1**, 241 (1910) erwähnt die Auflockerung der oberen Gesteinslagen im polaren Klima durch Frost. Vgl. weiter Blümcke u. Finsterwalder, Sitzungsber. math. phys. Kl. K. bayer. Akad. Wissensch. **20**, 435 (1890).

noch ein Umstand wichtig, nämlich der Ort, wo sich die ersten Eiskristalle bilden müssen, die dann, wie soeben ausgeführt,[1]) auch die Hauptmittelpunkte der Eisbildung bleiben und sich am stärksten ausdehnen werden. Auch diese Orte der ersten Eisbildung sind in von Spalten und Hohlräumen durchsetzten Steinen von Anfang an festgelegt. Durch verschiedene Untersuchungen ist nämlich festgestellt, daß in Kapillarräumen nicht nur erhebliche Unterkühlungen des Wassers[2]) vorkommen, sondern, was hier noch wichtiger ist, daß in ihnen auch der Gefrierpunkt des Wassers tiefer liegt. Wasser wird demnach in größeren Spaltenräumen früher gefrieren, als in feinen, da es eben in den letzteren erst bei tatsächlich niedrigerer Temperatur zu Eis erstarrt.[3]) In einem sich abkühlenden, von Wasser durchtränkten Stein müssen daher die ersten Eisnadeln in den weitesten, gröbsten Spalten entstehen und sich vergrößern, während in den sehr feinen Spalten es erst bei niedrigeren Wärmegraden zur Bildung von Eisnadeln kommt oder auch gar nicht, falls nämlich die in den großen Spalten entstehenden und weiter wachsenden Kristalle das Wasser auch der kleineren Hohlräume verbrauchen. So kommt es durch Frost im Laufe zumeist recht langer Zeit zu einer Zersprengung der Steine und Steinchen, sowie festgelagerter Erdschollen,[4]) die sich im Ackerboden finden, wie auch von Gesteinen.

Bei feinerem und feinstem Mineralmaterial im Boden wird, soweit derselbe dem Frost unterliegt, aus ähnlichen Gründen das Gefrieren des Wassers wesentlich in den die einzelnen Teilchen trennenden, verhältnismäßig gröberen Kapillaren stattfinden und wenig oder nicht in den Spalten und Rissen, welche in äußerst feiner Form sich etwa auch durch die kleinen Mineralteile hindurchziehen. Soweit indes quellbare Bodenteilchen in Frage kommen, wird das von diesen mit einer nicht unerheblichen Kraft festgehaltene Wasser doch wohl auch zum Teil in ihnen oder wenigstens in ihrer nächsten Nähe zum Erstarren kommen[5]) und so

---

[1]) Vgl. auch Seite 138 u. f.

[2]) Vgl. A. Mousson, Physik auf Grundlage der Erfahrung, 1. Aufl. **2**, 455 (Zürich 1860) und H. Müller-Thurgau, Landw. Jahrbücher **9**, 146, 161 (1880), wie **15**, 489—490 (1886).

[3]) A. Mousson, a. a. O., und Bibliothèque universelle de Genève **3**, 296 (1858); Sorby, Philosoph. Mag. (4) **18**, 105; F. Rüdorff, Ann. d. Phys. u. Chem. **114** (190), 64 (1861). Ferner H. Müller-Thurgau, Landw. Jahrbücher **9**, 146 (1880); P. Bachmetjew, Zeitschr. f. wiss. Zool. **66**, 584 (1899).

[4]) M. Berkmann, Intern. Mittlg. Bodenk. **3**, 13 (1913).

[5]) H. Molisch, Untersuchungen über das Erfrieren der Pflanzen, sagt: „Die Eiskristalle, die sich bilden und vergrößern, entziehen dem gequollenen Kolloid bzw. dessen Lösungen außerordentlich stark Wasser."

an ihrer Zerkleinerung und Aufteilung, sowie auch ihrer Austrocknung mitarbeiten. Besonders ist das in den Fällen anzunehmen, wo die nach Lage der Dinge zu erwartende feine Zerteilung durch enge Aneinanderlagerung und beginnende Verfestigung schon vermindert war, also bei in Tonlagern, im Untergrund oder bei Bildung von Pflugsohle, Ortstein, und anderen Verhärtungen abgelagerten quellbaren, feinsten Teilchen; vorausgesetzt, daß der Frost hier einwirken kann. Und ebenso dort, wo die Zerteilung erst im Beginn oder jedenfalls vor Erreichung ihres Höhepunktes stand, wie bei in Bildung begriffenem Humus.[1])

Die erwähnte Zertrümmerung von Steinen und Steinchen durch Frost wird natürlich nur langsam und allmählich vor sich gehen und dem Blicke des Praktikers nur in besonderen Einzelfällen einmal erkennbar sein. Auch durch Versuche ist sie für landwirtschaftliche Verhältnisse noch nicht einwandfrei ermittelt worden. Das ist jedoch durch die verhältnismäßig kurze Dauer der bisher vorliegenden Untersuchungen[2]) und andere Umstände zu erklären, so daß man trotzdem daraus keine Veranlassung nehmen kann, die geschilderte Frostwirkung zu bezweifeln. Andrerseits werden wir nicht ihr die wesentliche Mitarbeit an der günstigen Veränderung vieler Böden durch den Winterfrost zuschreiben dürfen, da sie eben notorisch langsam und sehr allmählich wirkt, sondern der Veränderung des Bodengefüges durch den Frost.

Hatte man bereits bei der soeben behandelten aufteilenden Wirkung des Frostes im Boden das Gebiet der Oberflächenwirkungen und damit der Bodenkolloide betreten — es sei an die Erniedrigung des Gefrierpunkts in Kapillaren erinnert —, so spielen bei der Änderung des Bodengefüges durch Frost die Kolloide wohl eine noch erheblich bedeutungsvollere Rolle.

In Anlehnung an das bei Behandlung der Frostwirkung auf Ton-

---

[1]) P. Ehrenberg und G. Frhr. von Romberg, a. a. O., ebenso R. Hoffmann.

[2]) Vgl. E. Haselhoff, Landw. Versuchsstat. **70**, 63 u. 134 (1909). Bei diesen Versuchen ist auch nicht eigentlich die Wirkung des Frostes auf verschiedene Gesteinstrümmer von einem bestimmten Wassergehalt mit den gleichen Bedingungen, aber ohne Gefrieren, verglichen, sondern in dem einen Fall haben die Versuchsgefäße gegen Niederschläge geschützt in einem Vegetationshause gestanden, im anderen aber dem Schnee und Regen preisgegeben im Freien. Angaben über die Temperaturunterschiede im Gewächshaus und im Freien fehlen, wie ferner auch manche anderen Verhältnisse, die Versuchsfehler, zumal aber die zunächst nur auf drei Jahre bemessene Dauer der Versuche ein für unseren besonderen Zweck hier brauchbares Ergebnis nicht ermöglichen. Auch weitere Versuchsreihen des genannten Forschers — mit Fr. Isernhagen zusammen, Landw. Jahrb. **50**, 161/2 (1916) — erbrachten kein abschließendes Ergebnis in dieser Richtung.

Gesagte[1]) darf ich hier behaupten, daß auch im Ackerboden durch Gefrieren ein Ausflocken und Zusammenpressen der Kolloide[2]) eintreten wird. Gleichzeitig rücken durch die Bildung von Eisnadeln die einzelnen gröberen Bodenteilchen selbst auseinander, bleiben indes an vielen Stellen durch infolge der verstärkten oder erst aufgetretenen Ausflockung zäh gewordene Hüllen von Kolloidton u. dgl. noch im Zusammenhang.[3]) An den Stellen aber, wo größere Eisbildungen auftreten, wird auch dieser Zusammenhang noch unterbrochen, und es ergeben sich so von Eiskristallen in sich ausgedehnte Bodenkrümel, die durch größere Eisteile begrenzt und von den in der Nähe lagernden gleichartigen Krümeln getrennt sind. Falls die Witterung dazu Zeit bietet, müssen ständig die größeren Eiskristalle auf Kosten der in ihrer Nähe befindlichen, ganz kleinen wachsen.[4]) Der Boden hebt sich so, zum Teil, wenn er wasserreich war, gar nicht unbeträchtlich, was zu der dem Landwirt so unerwünschten Erscheinung des „Auffrierens" von Pflanzen führen kann. Denn nach unten und nach den Seiten ist die Ausdehnung des Bodens durch Gegendruck behindert, nur nach oben frei.[5]) Gleichzeitig tritt aber überall, wo die Außenluft leichten Zutritt hat, wie z. B. bei kurz vor Winterseintritt tief gepflügtem Boden, schon während der Dauer der kalten Temperatur ein Austrocknen ein, da ja auch das Eis, wie bekannt, durch Verdunstung Wasser abgibt und zeitweise an klaren, kalten Tagen Sonne und Wind zusammen diese Verdunstung in gar nicht so geringem Umfang fördern. Folgt dann bei allmählich steigenden Wärmegraden Tauwetter, ohne daß es zu plötzlichem, von Regen unterstütztem Aufweichen des Bodens kommt, so setzt sich die Austrocknung dabei weiter fort, um so mehr, als ja der Kolloidton durch den Kristallisationsdruck der Eisnadeln schon zu einem erheblichen Teil ausgepreßt und seines Wassergehalts beraubt worden ist.[6]) Aber sie wird

[1]) Vgl. Seite 138 ff.

[2]) Daß auch feinere Suspensionen, Aufschwemmungen, durch Frost ausgeflockt werden, liegt wegen deren Verwandtschaft mit den Kolloiden nahe, konnte ja auch bei älteren Vorversuchen von mir, dann von E. Hahn — vgl. oben 141, Anm. 2 — bestätigt werden. Interessant sind hierzu auch Beobachtungen von G. Haberlandt, nach denen durch Frost z. B. auch die Blattgrünkörnchen der Pflanzen sich in größere und kleinere Klümpchen ballen, Botan. Ztg. **34**, 812 (1876). Weiter H. Molisch, Untersuch. Gefrier. Pflanzen, wo auch Klümpchenbildung, also Ausflockung von Aufschwemmungen, durch Frost erwähnt wird.

[3]) Vgl. auch H. Rodewald, Fühlings landw. Zeit. **57**, 457 (1908).

[4]) O. Lehmann — Flüssige Kristalle (Leipzig 1904) 137 — weist auf die starke Wirkung des Wachsens von Eiskristallen auf den Boden hin.

[5]) J. Kopecky, Intern. Mittlg. Bodenk. **4**, 168 (1914).

[6]) Vgl. oben 140.

noch erheblich gesteigert durch das Abfließen von Wasser aus den durch den Frost geweiteten, größeren Hohlräumen, Spalten und Rissen, die ihrer vermehrten Ausdehnung wegen nicht mehr die gleichen Wassermengen kapillar festzuhalten in der Lage sind, wie vorher.[1]) So trocknen die einzelnen, durch Frost gebildeten Bodenkrümel jeweils an ihrer Oberfläche durch Abfließen der sie vorher als Eis umgebenden, dickeren Wasserschichten, wie durch den dann erleichterten Zutritt der Luft und die damit verbundene stärkere Verdunstung aus. Jedes innerlich noch feuchte Bodenkrümel umgibt sich mit einer stärker ausgetrockneten Schicht, die das Aneinanderkleben der Krümel erschwert oder hindert, je nach dem Grade des Wasserverlustes und seiner Einwirkung auf die ausgeflockten Bodenkolloide. Diese starke Beeinflussung des Bodengefüges durch Frost kann natürlich, da sie wesentlich durch das Verhalten des Wassers beim Gefrieren bedingt ist, nur bei ausreichendem Feuchtigkeitsgehalte des Bodens eintreten. So vermochte E. Wollny bei Torfpulver durch Gefrieren Zunahmen des Volums festzustellen, die sich beim wassergesättigten Material auf 6% des Anfangsvolums, bei zu zwei Dritteln gesättigtem auf 0,3% beliefen und endlich bei zu einem Drittel gesättigten nicht mehr feststellbar waren.[2]) Ähnliches — bis auf die einzelnen Größenangaben, die je nach den Umständen wechseln dürften — gilt fraglos auch für Acker- beziehungsweise Waldboden. Nur bei genügender Anfeuchtung vermag selbst starker Frost seine wohltätige Wirkung auf ihn zu äußern.[3]) Da nun aber durch den Pflug lockergelegter Boden weit mehr Wasser aufzunehmen und festzuhalten vermag als festgelagerter,[4]) so erklärt sich die günstige Wirkung des Pflügens vor Winter in dieser Richtung.

Wir sahen oben, daß heftiger Regen oder starke Überschwemmung des Landes bei plötzlichem Tauwetter die Frostwirkungen mehr oder weniger zu verwischen vermag. Doch schafft sich der Boden unter dem Einfluß des Frostes für gewöhnlich selbst ein gewisses Hilfsmittel hiergegen durch den schon erwähnten verstärkten Wasserabzug, den die zwischen den einzelnen Bodenkrümeln gebildeten größeren Zwischenräume gestatten.[5]) Durch Frost wird auch insofern der Wasserabfluß verstärkt,

---

[1]) Vgl. auch E. Wollny, Forsch. Geb. Agrikulturphysik **20**, 457 (1897/98).

[2]) E. Wollny, Forsch. Geb. Agrikulturphysik **20**, 444 (1897/98). Auch andere Beobachtungen E. Wollnys berechtigen zu der oben wiedergegebenen Ansicht; vgl. a. a. O. 459.

[3]) E. Wollny, a. a. O. 448; Br. Kerl, Handbch. ges. Tonwarenind., 3. Aufl. 141 (1907).

[4]) H. Hellriegel, Grundl. Ackerbaues (1883) 751.

[5]) E. Wollny, Forsch. Geb. Agrikulturphysik **20**, 453 (1897/98).

als durch das Übergehen von Kolloiden und von Aufschwemmungen in den ausgeflockten Zustand eine etwaige Verstopfung feinster Bodenhohlräume durch gelöste oder stark gequollene Kolloide beseitigt wird. Diese würden dort sonst durch Adsorption hängen bleiben und die Poren des Bodens mehr und mehr, bis zu völligem Verschluß, zusetzen.[1]) Auch die Fähigkeit, übermäßige Mengen von Wasser in sich festzuhalten, nimmt auf diese Weise für durchgefrorenen Boden ab, wie schon vielfach beobachtet wurde,[2]) während gleichzeitig die Lockerung vorher eng und fest gelagerten Bodens durch Frost ihn aufnahmefähiger für Wasser macht. Verdeckend können dabei augenscheinlich Besonderheiten wirken, welche auch wieder durch die Kolloide des Bodens bedingt sind, so z. B. indem stark quellbarer Humusboden das beim Gefrieren abgeschiedene Wasser wieder größtenteils in sich aufnehmen soll.[3]) — Trockener Boden kann, wie wir soeben sahen, diese günstige Beeinflussung durch den Frost nicht erfahren. Ebensowenig aber auch ein solcher, der keine oder nur sehr geringe Mengen von Bodenkolloiden enthält. Einmal wird schon seine Wasserhaltungskraft dadurch in der Regel zu niedrig sein, als daß nun das gefrierende Wasser bei seiner geringen Menge den Boden in entsprechendem Umfange beeinflussen könnte. Dann aber muß, soweit es doch zu einer günstigen Änderung der Bodenstruktur gekommen ist, die nicht durch klebende Bodenkolloide gefestigte Anordnung der Bodenteilchen auch schon durch die mit allmählichem Tauwetter meist verbundenen geringeren Wasserbewegungen schnell wieder zerstört und so der Einfluß des Frostes verwischt werden.[4])

[1]) Vgl. hierzu z. B. R. Warringtons Mitteilung, daß stets die Klarheit der Dränagewässer während einer Tauperiode — also nach vorausgegangenem Frost — bemerkenswert ist. Lectures some physic. properties soil (Oxford 1900) 40.

[2]) J. Sachs, Landw. Versuchsstat. **2**, 167 (1860). Die Verminderung der Wasserkapazität eines humosen Bodens durch Frost wurde hier zu 6% festgestellt. Auch für Ton wurde bei Frost ein Verlust an wasserhaltender Kraft ermittelt. Vgl. W. Schumacher, Physik d. Bodens **1**, 276 (1864). Weiter beachte man Mitteilungen von M. Fleischer, Landw. Jahrb. **20**, 785 (1891); hier wurde u. a. bei Seeschlick, einer tonigen, sehr wasserhaltigen Masse, ein Wasserverlust von 30% beim Gefrieren beobachtet. Eingehende Studien bei E. Wollny, Forsch. Geb. Agrikulturphysik **20**, 454 (1897/98).

[3]) E. Wollny, a. a. O. 458; daß die dort angegebenen Zahlen in ihrem Werte dadurch stark leiden, daß nicht naturfrischer, sondern ausgetrockneter und irgendwie behandelter Torf benutzt wurde, ist mindestens wahrscheinlich.

[4]) Hinweise hierauf können wohl aus C. von Seelhorsts Arbeiten, zumal Journ. Landw. **54**, 314—315 (1906), entnommen werden. Vgl. auch E. Wollny, Forsch. Geb. Agrikulturphysik **20**, 449 (1897/98).

Indes nicht nur die Vergrößerung der Kapillaren und Spalten im Boden ist als Ursache der Verringerung der Wasserkapazität durch Frost anzusehen. Wir müssen vielmehr, worauf bereits hingewiesen wurde, eine Verstärkung oder überhaupt den Eintritt[1]) einer Zusammenballung, einer Oberflächenverringerung der Bodenkolloide durch Frost annehmen — wobei, wie selbstverständlich, unter Bodenkolloiden auch die Aufschwemmungen wie die Gallerten im Boden zu verstehen sind. — W. Czermaks Versuche haben einige, allerdings weiterer Erhärtung bedürfende Beweise hierfür erbracht[2]) und damit die von mir schon früher ausgesprochene Vermutung bestätigt.[3]) Weiter geben G. C. Givens oben[4]) angeführte Versuche wohl ein ziemlich deutliches Bild. Es ist ferner einmal nach vielfachen Versuchen von anderer Seite,[5]) dann aber auch aus theoretischen Gründen durchaus wahrscheinlich, daß Frost die Bodenkolloide zusammenballt. Hierfür sei auf meine Ausführungen über das Gefrieren des Tons verwiesen und weiter bemerkt, daß durch Gefrieren des Wassers naturgemäß eine steigende Konzentration der Salzlösungen im Boden eintreten wird, die schließlich zu einer Salzausflockung der Bodenteilchen kolloider Art[6]) führen muß, falls nicht schon andere Umstände eine Ausflockung bedingen.[7]) Diese wird nun bei Ton, wie bereits ausgeführt, nicht als eine dauernde, eine irreversible anzusehen sein. Im Gegenteil wird sie voraussichtlich durch größere Wassermengen und stärkere Bewegung der Teilchen verhältnismäßig schnell

[1]) Infolge der zumeist großen Niederschläge des Spätherbstes, wie auch durch den starken Verbrauch von Salpetersäure durch die Pflanzen während der Wachstumszeit, wobei oft Alkalien zurückbleiben, wird der Boden vor Eintritt des Frostes die Kolloide mehr oder weniger im Solzustande enthalten; vgl. auch später.

[2]) W. Czermak, Inauguraldissertation (Breslau 1911) 9.

[3]) P. Ehrenberg, Mitteil. landw. Inst. Univ. Breslau **4**, 463 (1908).

[4]) Oben 139 u. f.

[5]) K. Ljubavin, Journ. russ. phys.-chem. Ges. **21**, I, 397 (1889); J. A. Prange, Recueil trav. chim. Pays-Bas **9**, 126 (1890); H. Ambronn, Verh. kgl. sächs. Ges. Wiss. **43**, I, 28 (1891); C. Barus und E. A. Schneider, Zeitschr. physik. Chem. **8**, 279 (1891); E. A. Schneider, Ber. Deutsch. chem. Ges. **24**, 2242, 2244 (1891); S. E. Linder und H. Picton, Journ. Chem. Soc. **67**, 73 (1895); K. Stöckl und L. Vanino, Zeitschr. physik. Chem. **30**, 101 (1899); G. Bredig, Anorgan. Fermente (Leipzig 1901) 28; R. Zsigmondy, Erkenntnis d. Kolloide (Jena 1905) 140; A. Lottermoser, Zeitschr. physik. Chem. **60**, 452 (1907); O. Bobertag, K. Feist und H. W. Fischer, Ber. Deutsch. chem. Ges. **41**, 3675 (1908); A. Lottermoser, ebendort 3976; A. Gutbier und F. Flury, ebendort 4359; G. Bruni, ebendort **42**, 563 (1909).

[6]) Vgl. über diese die Einleitung wie spätere Ausführungen.

[7]) Nähere Angaben dieser Art bei P. Ehrenberg, Mitteil. landw. Inst. Univ. Breslau **4**, 463 (1908).

beseitigt werden können. Für die Humusstoffe des Bodens, diesen zweiten Hauptvertreter seiner Kolloide, ist bekannt, daß wäßrige Humuslösungen durch Gefrieren einen schwarzen Niederschlag aussondern, der sich beim Auftauen in dem farblos gewordenen Wasser nicht wieder löst.[1]) Auch die Bildung eines Bodens, welcher in mancher Hinsicht ungewöhnliche und abweichende Eigenschaften zeigt, des „Staubhumus", einer unfruchtbaren, schwer von Wasser benetzbaren, rasch austrocknenden Humusart, wird dem Frost zugeschrieben.[2]) So sagt weiterhin H. v. Post, daß Moorboden bei Frost zu feinem, nicht mehr zusammenhaftendem Pulver zerfalle.[3]) Es liegt danach anscheinend für ihn eine irreversible Ausflockung vor.[4]) Doch werden wir mit dieser Bezeichnung auch hier vorsichtig sein müssen. Denn einmal kommt es bei Gegenwart von Alkali, wie auch von mir festgestellt wurde, durch Frost nicht zur Bildung unlöslicher Ausscheidungen, dann aber treten diese überhaupt recht auffällig erst dann auf, wenn schon ein anderes Ausflockungsmittel, wie Gegenwart von Sand, mithilft.[5]) Auch die Konzentration wird nicht ohne Bedeutung sein. Da ferner im Boden gelegentlich sogar ziemlich deutlich, durchgängig aber, soweit es sich um normalen kalkhaltigen Acker- oder Waldboden handelt, infolge der Hydrolyse des Kalziumkarbonats wenigstens ganz schwach alkalische Reaktion vorhanden sein muß, so wird auch für die Humuskolloide im Boden vielfach nur eine je nach den Umständen länger oder kürzer dauernde Ausflockung durch Frost anzunehmen sein, nicht immer eine irreversible Veränderung. — Daß der Kalk an sich auf die Humusstoffe zu wirken vermag, muß dabei hier natürlich außer Betracht bleiben. — Hiermit stimmt die Tatsache aufs beste überein, daß die Veränderungen des Bodens durch Frost wohl ziemlich bedeutungsvolle sind, aber sich selten auf lange Zeit hinaus zu erstrecken scheinen. Eher sind bei dem zur Bodenverbesserung benutzten Seeschlick irreversible Veränderungen durch Frost wahrscheinlich, die auch vorwiegend dessen organische Kolloide treffen dürften. Sie lassen aus einer speckigen, kaum zu verteilenden, an Wasser über-

[1]) A. Mayer, Landw. Versuchsstat. **58**, 186 (1903). Ähnliches schon bei C. Sprengel, Bodenkunde, 1. Aufl. (1837) 108. In neuester Zeit wieder einmal bestätigt durch W. Thaer, Einfluß v. Kalk u. Humus, Preisschrift (Göttingen 1910) 119.

[2]) F. Schubert, Handb. Forstchemie (1848) 547.

[3]) H. v. Post, Landw. Jahrbüch. **17**, 411 (1888).

[4]) Schon bei L. Lesquereux, C. Sprengel, E. F. O. Lasius finden sich solche Angaben; vgl. L. Lesquereux, Untersuch. üb. Torfmoore, übers. A. v. Lengerke (1847) 110.

[5]) Adolf Mayer, a. a. O.

reichen Masse ein leicht trocknendes und dann gut verteilbares, krümliches Pulver entstehen.[1])

Für gewisse Zeit werden aber, wie beim Ton, so auch beim Humus die Wirkungen des Frostes recht merkbare sein, soweit nicht wirklich doch einigermaßen dauernde Veränderungen eintreten sollten. Das zeigen z. B. die an Torf gemachten Beobachtungen J. Neßlers[2]) und M. Fleischers,[3]) nach welch letzterem heftiger Frost unter Umständen zu einer völligen Strukturveränderung des Moorbodens führt[4]) — sehr wahrscheinlich ist diese ganz ähnlich wie beim Ton wesentlich auch durch Bildung von Eiskristallen und Weitung vorhandener Kapillaren[5]) zu erklären[6]) —, so daß der Moorboden „sein Kontraktionsvermögen verliert". Dieser Verlust des Schwindungsvermögens[7]) würde dem Fortfall seines Gegenstücks, des Quellungsvermögens,[8]) völlig entsprechen. Und nach den heutigen An-

[1]) Chem. u. techn. Unters. Versuchsstat. Münster, **2**, 30 (1878/81). Ferner Zentralbl. Agrikulturchem. **10**, 207 (1881), nach Mitteil. der Moorversuchsstat. Bremen.

[2]) J. Neßler, Landw. Versuchsstat. **33**, 1 (1887).

[3]) M. Fleischer, Landw. Jahrb. **20**, 771 (1891).

[4]) Darauf weisen auch die auffälligen Erscheinungen hin, die nach N. Caro durchgefrorener Torf bei seiner technischen Verwendung aufweist. Er brennt nicht mehr, sondern glimmt nur. Im Koksofen gibt er nur eine bröcklige Masse. (Vortrag Naturforscherversamml. Königsberg, Abt. landw. Versuchswesen [1910].)

[5]) Durchgefrorener Moorboden läßt nach M. Fleischer nach dem Auftauen wesentlich mehr von seinem Wasser abfließen als nicht gefrorener. Vgl. Landw. Jahrb. **20**, 784 ff. (1891). Die Unterschiede würden voraussichtlich noch erheblicher gewesen sein, wenn nicht der von M. Fleischer benutzte Moorboden vor seiner Sättigung mit Wasser getrocknet gewesen wäre, was ihn zu solchem Versuch eigentlich ungeeignet macht.

[6]) Aus den Mitteilungen von V. Zailer und L. Wilk, Zeitschr. Moorkult. u. Torfverw. **5**, 112 (1907), darf man wohl mit Recht entnehmen, daß neben der Zusammensetzung und Bildungsart eines Torfs ganz besonders auch die von ihm aufnehmbare Wassermenge maßgebend für die Wirkung des Frostes ist, was ja eine nähere Beweisführung ganz ähnlich wie für die Frostwirkung auf Ton ermöglichen würde. Nur handelt es sich bei Torf um ein wohl ungleich stärkeres Hervortreten der Veränderungen des eigentlichen Kolloides durch den Frost. Damit hängt dann auch zusammen, daß durchfroren gewesene Torfstücke schneller trocknen als die nicht durchfrorenen. Vgl. E. Wollny, Zersetz. organ. Stoffe (Heidelberg 1897) 237.

[7]) Wie ich hier wohl unter Anwendung des für den gleichen Vorgang beim Ton üblichen und auch bisher benutzten Ausdrucks an Stelle von „Kontraktionsvermögen" sagen darf.

[8]) Angaben über die Quellung von Humusböden z. B. bei C. Sprengel, Bodenkunde, 1. Aufl. (1837) 220. Ferner auch bei H. Fuchs, Inauguraldissertation (Rostock 1904), 67, über Frost dort 81.

schauungen muß alles, was die Quellung hemmt, auch gleichzeitig die Ausflockung fördern.[1]) So wäre auch hier eine Wirkung des Frostes durch Ausflockung der Bodenkolloide vorhanden. Sie wird zweifellos, wo es sich nur um humosen Boden, nicht um Moor handelt, noch dadurch vermehrt, daß die als Schutzkolloide für Ton und feinste Sande wirksamen Humusstoffe durch Frost zum mindesten häufig ausgeflockt werden dürften. Dann müssen die Tonkolloide bzw. feinsten Sande ihrerseits als Folge davon noch eher und stärker ausfallen. Entsprechend sah H. Bechhold die Schutzwirkung von Serum oder Blutegelextrakt auf Mastixaufschwemmungen schwinden, wenn der die Ausflockung bedingende Umstand sich auch auf die Schutzkolloide von Einfluß zeigte.[2]) Es mag dazu noch darauf hingewiesen sein, daß auch Kieselsäurekolloid und Eisenhydroxyd durch Frost beeinflußt werden.[3]) Von dem letztgenannten Kolloid liegen diesbezügliche Untersuchungen schon aus alter Zeit von Limberger und Wittheim vor. Sie ermittelten eine Löslichkeitsverminderung durch Frost.[4])[5]) Und schon W. Schumacher wies auf die Bedeutung dieses Vorgangs für den Boden hin.[6]) Die Anschauung von R. Hoffmann[7]) dagegen, daß infolge der in langen Zeiten immer wieder eintretenden Frostwirkung auf den Boden jetzt irgendwelche Beeinflussung der Bodenoberfläche, und damit nach Hoffmann wohl auch der Bodenkolloide[8]), unwahrscheinlich sei, weil wir bereits dem erreichbaren Endwerte einer solchen nahe wären, scheint mir nicht berechtigt. Abgesehen von anderen Einwänden vergißt der erwähnte Forscher, daß durch große Mengen elektrolytarmen Wassers und andere Umstände gegen den Herbst die in unseren Ackerböden enthaltenen Kolloide mehr und mehr wieder vom Gelzustand zum Solzustand über-

[1]) H. Freundlich, Kapillarchemie (Leipzig 1909) 513.

[2]) H. Bechhold, Zeitschr. physik. Chem. **48**, 397 (1904).

[3]) Kieselsäuresole scheinen nach den Umständen, Gehalt an Elektrolyten usw., bald bei Frost auszuflocken — K. Ljubavin, Journ. russ. phys.-chem. Ges. **21**, 397 (1889) —, bald auch nicht — F. Mylius und E. Groschuff, Ber. Deutsch. chem. Ges. **39**, 116 (1906). Auch kolloide Lösungen von Eisenhydroxyd zeigen nach K. Ljubavin wechselndes Verhalten. — Vgl. sonst noch die Literatur Seite 165, Anmerk. 5. Ferner oben Seite 49, 65 und 70.

[4]) Nach W. Schumacher, Physik in Anwend. Agrikultur u. Pflanzenphys. **1**, 276 (Berlin 1864).

[5]) Weitere Beobachtungen von J. M. van Bemmelen und E. A. Klobbie, Journ. prakt. Chem. [2] **46**, 497 (1892).

[6]) W. Schumacher, a. a. O. 276.

[7]) R. Hoffmann, Landw. Versuchsstat. **85**, 127 (1914).

[8]) A. a. O. 129 dürfte dies wenigstens nahelegen.

gehen dürften. Noch feuchte, durch Frost zerstörte ungebrannte Ziegelsteine können sofort wieder durchgeknetet und erneut geformt werden, die Frostwirkung erscheint hier somit nur als recht vorübergehend.

Sogar chemisch läßt sich der Einfluß des Frostes auf die Bodenkolloide nachweisen und vermag so gewiß auch im Boden selbst einen, wenn auch wohl nur selten erkennbaren Beitrag zum Löslichwerden von Pflanzennährstoffen zu geben. M. Fleischer fand bei Seeschlick in halbgesättigtem Kohlensäurewasser löslich in Prozenten:[1])

	Direkt getrocknete Probe	Nach dem Ausfrieren getrocknete Probe
Mineralsubstanz	0,67	0,73
Glühverlust (also wohl wesentlich organische Masse)	0,16	0,13
Kalk	0,26	0,30
Schwefelsäure	0,08	0,11

Leider ist durch das Trocknen der Proben vor ihrer Untersuchung aller Wahrscheinlichkeit nach schon die Frostwirkung zum Teil verdeckt worden. Immerhin bleibt noch festzustellen, daß die Löslichkeit organischer Stoffe zurückgegangen ist, wohl durch Zusammenballung von Kolloiden, und daß dann, sei es infolge von Verminderung der Bodenadsorption durch Oberflächenverkleinerung, sei es durch Beseitigung umhüllender Kolloide, auch Mineralstoffe vermehrt in Lösung gingen.[2])

Nach den Ausführungen auf den letzten Seiten wird auch eine den Landwirt häufig sehr unangenehm berührende Erscheinung, das sog. Auffrieren des Bodens, und die damit verbundenen Pflanzenschädigungen klar sein. Schon die herbstlichen Niederschlagsmengen, verbunden mit gelegentlichem Auftreten von alkalischer Reaktion im Boden — etwa infolge vorwiegender Aufnahme von Säurebestandteilen der Neutralsalze durch die

[1]) In 72 Stunden. Landw. Jahrb. **12**, 225 (1883). Die Zahlen sind um eine Dezimale gekürzt.

[2]) Wenn auch leider Paralleluntersuchungen für die oben wiedergegebenen Werte fehlen, so ist doch nach M. Fleischers Worten: „Die Differenz deutet entschieden dahin, daß die Einwirkung des Frostes eine sehr tiefgreifende gewesen ist", kein Zweifel daran zu hegen, daß sich die beobachteten Unterschiede weit über die Fehlergrenze erstreckt haben müssen. Daß wesentlich die Löslichkeit von Gips und kohlensaurem Kalk (M. Fleischer berechnet den Unterschied für den ersten auf 0,06 und für den anderen auf 0,04 %) durch Frost verändert wurde, könnte man wohl dadurch erklären, daß in der an Muschelschalen und faulendem Eiweiß reichen Schlickmasse die beiden erwähnten Salze sich in erster Linie in großen Mengen vorfinden müssen und so für Adsorption oder auch Umhüllung wesentlich in Frage kommen werden.

Pflanzen während ihrer Wachstumszeit[1]) oder auch wegen des Zurücktretens der Kohlensäureproduktion im Boden und Hydrolyse von Alkalisilikaten bei der Verwitterung, – führen bei kolloidreichen Bodenarten, also wesentlich Ton-[2]) und Humusböden,[3]) ein weitgehendes Quellen herbei.[4]) Dies kann schon allein unter Umständen dazu führen, daß die Pflanzen durch Heben und, später beim Wiederaustrocknen, folgendes Senken der Erdoberfläche leiden.[5]) Der so gequollene und sehr wasserhaltige Boden aber wird durch Gefrieren natürlich eine noch erheblich weitergehende Ausdehnung erreichen,[6]) der nach dem Auftauen die Verminderung des Volums sowohl wegen der Umwandlung von Eis in Wasser, wie wegen des erheblich durch die Frostwirkung geförderten Wasserabflusses und Austrocknens folgt. So kommen Zerreißungen der unterirdischen Pflanzenteile, wie Bloßlegungen[7]) zustande,[8]) wodurch anderen Schädigungen die Wege gebahnt werden. — Die bislang gegebenen Erklärungen dürften für das Verständnis der Frostwirkung auf den Boden und das Verhalten der Bodenkolloide dabei ausreichen. Ob es nötig ist, mit E. Wollny und A. Mitscherlich bei der Frostwirkung der Zerkleinerung größerer Krümel

[1]) Bei Düngung mit Chilesalpeter, wie Phosphaten, soweit diese durch Umsetzungen im Boden zur Bildung von Alkaliphosphaten Anlaß geben konnten.

[2]) Vgl. z. B. H. Schalk, Forstwiss. Zentralbl. **28**, 570 (1906).

[3]) J. Kühn, Krankh. d. Kulturpflanzen, Ursach. u. Verhüt. (1858) 10, rechnet auch noch Lehmböden unter die solchen Schädigungen unterworfenen Bodenarten. Maßgebend dafür, bei welchem Mindestgehalt des Bodens an Kolloiden ein Auffrieren eintritt, wird außer der Beschaffenheit, dem Zustande derselben besonders die Größe der Durchnässung der oberen Erdschichten bei Eintritt des Frostes sein. So wird Dränage ein Hilfsmittel gegen das Auffrieren. Vgl. noch eingehende Behandlung der Frage für den Praktiker bei F. Aereboe, D. Landw. Presse **21**, 61 (1894); C. Breymann, Prager landw. Wochenbl. **11**, 440 (1880). Ferner auch F. Haberlandt, Wiener landw. Ztg. Nr. 14, 141 (1874) und A. von Lengerke, Landw. Zentralbl. **22**, 375 (1874).

[4]) Vgl. Seite 194 dazu.

[5]) C. Sprengel, Bodenkunde, 1. Aufl. (1837) 219—220.

[6]) J. N. von Schwerz, Landw. Westfalen u. Rheinpreuß. **1**, 85, 136, 138 (1837). Weiter J. A. Schlipf, nach W. Schumacher, Physik in Anwendung a. Agrikult. u. Pflanzenphys. **1**, 310 (1864). Vgl. auch entsprechende, wenn auch nur sehr kurz wiedergegebene Anschauungen von R. Warington, Lect. some phys. propert. soil (Oxford 1900) 40.

[7]) A. D. Thaer, Grunds. rationell. Landw., 5. Aufl. **4**, 31 (1853); E. Wollny, Zersetz. organ. Stoffe (Heidelberg 1897) 366.

[8]) Inwieweit die Möglichkeit eine Rolle spielen kann, daß durch eine oberflächliche Frostwirkung auf feuchten Boden der Zutritt von Sauerstoff zur Bodenluft abgeschnitten wird, bleibe hier dahingestellt. Zeitschr. Biologie **15**, 238 (1879), Arbeit von F. Renk.

und der Ausfüllung von Bodenhohlräumen durch hineinbröckelnde Erdteilchen nahmhafte Bedeutung beizulegen,[1]) scheint zum mindesten noch unentschieden. Die bisher vorliegenden Versuche würden einer Erweiterung und Vervollständigung bedürfen, wollte man aus Deutungsversuchen[2]) eine Erklärung maßgebender Art ableiten. E. Wollny stellt auch zunächst eine Volumzunahme des Bodens durch wiederholte Fröste fest und nimmt erst nach Überschreiten eines Grenzpunktes bei weiterem Wiederholen des Frostes das erwähnte Eintreten einer Zerkleinerung an.[3]) Dagegen werden, falls ein Boden vor Eintritt des Frostes gepflügt ist, die Wollny-Mitscherlichschen Ansichten mehr Wahrscheinlichkeit für sich haben, wie dann überhaupt aus verschiedenen Gründen[4]) die Frostwirkung verstärkt erscheint.

Im Zusammenhang mit den vorher und soeben mitgeteilten Tatsachen mag noch die Bemerkung von Interesse sein, daß eine Frosttiefe über etwa ½ m in Deutschland selten vorkommt. Als Ausnahme wird für den Winter 1857/58 ein Eindringen des Frostes in eine Tiefe von über 1 m bei leichtem Sandboden in der Gegend von Berlin angegeben.[5]) Es dürfte ferner als bekannt gelten, daß eine Bedeckung des Bodens, besonders mit Schnee, der als schlechter Wärmeleiter bekannt ist, das Eindringen des Frostes wie die nächtliche Wärmeausstrahlung durch den Boden, und damit auch die günstige Wirkung des Gefrierens auf die Bodenkolloide ganz oder teilweise hindern wird.[6])

Die bereits oben erwähnte Tatsache, daß Humuskolloide aus ihren neutralen bzw. sauren Lösungen durch Frost ausgefällt werden, gibt noch Veranlassung, der Anschauung zu gedenken, welche die Bildung der Torfmoore selbst mit derartigen Vorgängen in Beziehung zu bringen suchte.[7]) Wir dürfen heute, wo Moorbildungen sogar in den Tropen

[1]) E. Wollny, Forsch. Geb. Agrikulturphysik **20**, 447 (1897/98); A. Mitscherlich, Bodenkunde, 1. Aufl. (Berlin 1905) 133.

[2]) A. Mitscherlich, Fühlings landw. Ztg. **51**, 536 (1902).

[3]) E. Wollny, a. a. O. 446—447.

[4]) Vgl. u. a. Seite 163 u. f., auch die Besprechung der Ackergare unten, sowie ferner P. Ehrenberg, Mitteil. landw. Inst. Univ. Breslau **4**, 464—465 (1908).

[5]) Nach W. Schumacher, Physik in Anwend. a. Agrikult. u. Pflanzenphys., **1**, 272 (Berlin 1864).

[6]) A. Woeikoff, Forsch. Geb. Agrikulturphysik, **12**, 454 (1889); J. Boussingault u. a., vgl. W. Schumacher, a. a. O. 273.

[7]) Vgl. z. B. G. Schübler, Grunds. d. Agrikulturchemie **2**, 29 (1830); E. Braun, Forstl. Blätt. [3] **14**, 203/4 (1890); ebenda, (1885), zit. nach Zeitschr. Forst- u. Jagdw. **18**, 178 (1886). Auch F. Senft, a. a. O.; ferner J. Reindl, Schwarze Flüsse Südamerikas, Dissertation (Bern 1903). Weiter gehen auch J. Früh und C. Schroeter,

nachgewiesen sind, wenngleich sie dort nicht die Häufigkeit erlangen, wie in kühleren Gegenden,[1] wohl kaum noch an solchen Ansichten festhalten. Damit soll indes natürlich nicht all und jede Wirkung des Frostes bei der Bildung der Moore geleugnet werden. Nur dürfte er wahrscheinlich neben anderen Einflüssen wenig Bedeutung besitzen, so neben der Verhinderung der Sauerstoffzufuhr durch weitgehende Anfeuchtung wie auch teilweise dem Mangel an Kalk. Der Einwirkung von Frost auf die Ortsteinbildung, die sich hier ebenfalls anschließen würde, sei später bei der Betrachtung dieser Erscheinung im Zusammenhange gedacht.

2. Niederschläge und Tauwetter.

Die allgemeinen Veränderungen des Bodens unter dem Einflusse der Niederschläge sind bekannt. Es sei hier nur hervorgehoben, daß die Einbeziehung des Tauwetters in diesen Abschnitt besonders im Sinne einer Berücksichtigung der in fester Form als Schnee herabkommenden Wassermengen geschieht, während sonst ja auch schon bei Besprechung der Frostwirkungen dem Tauwetter eine gewisse Beachtung geschenkt werden mußte.

a) Auflösung und Fortschwemmung der Bodenkolloide.

Der Einfluß der Niederschläge auf die Kolloide des Bodens kommt zur Geltung 1. als Prallwirkung, 2. als Wirkung verhältnismäßig sehr salzarmen Wassers,[2] 3. als Wirkung der etwa vorhandenen elektrischen Ladung.

Vorausgeschickt muß hier werden, daß auch andere Ursachen als der Frost die Bildung von Bodenkrümeln veranlassen, welche durch ausgeflockte Bodenkolloide verklebte Bodenteilchen darstellen und derart bald kleinere, bald größere Haufwerke bilden. Gut und frisch bestellter Ackerboden zeigt sich so aus kleinen, durch die klebende und umhüllende Wir-

Moore d. Schweiz (Bern 1904), auf diese Vorstellung ein; daß der Frost eine Hauptbedingung für die Vertorfung bilde, und suchen sie, die sich „lange und hartnäckig erhalten habe", durch Hinweis auf schottische und irische Moore zu widerlegen, da dort Winterfrost nur vorübergehend bekannt sei. Sie beachten aber nicht, daß man als Gegengrund anführen könnte, daß die großen Moore der dortigen Gegenden vielleicht früher bei anderem Klima in der Bildung begannen und jetzt voraussichtlich durch ihre eigenen Eigenschaften mehr dem Frost ausgesetzt sind, (vgl. z. B. E. Wollny, Zersetz. organ. Stoffe [Heidelberg 1897] 269), als dem Klima jener Länder nach zu erwarten wäre. — E. Wollny will es noch unentschieden lassen, a. a. O. 219, ob Frost bei der Moorbildung eine wichtige Rolle spielt.

[1]) Vgl. oben 56, Anmerk. 7—9.

[2]) „Salz" in der erweiterten Bedeutung von „Elektrolyt".

kung der ausgeflockten Bodenkolloide gebildeten Krümeln zusammengesetzt, die sich auch weiter zu größeren Anhäufungen vereinigt haben können,[1]) und verhältnismäßig locker aufeinander liegend, dem Boden ein Gefüge geben, das in mancher Beziehung an das einer dicken Schicht frisch gefallenen Schnees erinnert. Wie diese schließt solch Boden viel Luft ein, und ist locker. Auch der Schnee besteht aus lauter miteinander zu Eiskristallbildungen verbundenen, feinen Eisnadeln, die wieder locker aufeinander liegen, wie der Boden aus einzelnen, durch Kolloide zusammengehaltenen kleinen und größeren Teilchen. Beide, ohne solche lockere Anordnung dicht beieinander liegend, würden ein ganz anderes Gefüge und damit andere Eigenschaften herbeiführen. Das zeigt bei unserem Beispiel ein die dicke, lockere Schneedecke zu einer dünnen, festen Kruste zusammentretender Fuß, der die Gruppierung der Eisnadeln in den einzelnen zu Boden gesunkenen Schneeflocken und ihre lockere Lagerung aufeinander zerstört, und so eine andere, dichte und wenig Luft einschließende Lagerung der Eisnädelchen herbeiführt.[2]) Auch der Erdboden wird entsprechend beeinflußt, wenn auch erheblich weniger stark. Jeder Landwirt weiß das und macht davon Gebrauch, wenn er zu locker gelagerten Boden durch die Walze zusammendrückt.

Es liegt nahe, daß auch die Aufprallwirkung der Niederschläge auf den aus einzelnen, mehr oder weniger locker aufeinander liegenden Krümeln gebildeten Boden einen verwandten Einfluß ausüben muß.

Denken wir beispielsweise an die Hagelkörner, die zunächst, solange sie ungeschmolzen in Frage kommen, die einfachsten Verhältnisse darbieten. Sie werden, auf die Bodenoberfläche heftig aufprallend, zunächst diese zusammenschlagen. Dabei zerstören sie auch wohl mehr oder weniger die Struktur der zu oberst gelegenen Krümel. Sie pressen die Einzelbestandteile derselben mit den sie umhüllenden, vorher ihren Abstand untereinander aufrecht erhaltenden Bodenkolloiden zusammen, so daß sie jetzt enge Lagerung mit wenig Zwischenräumen annehmen. Neben den zu oberst gelegenen Krümeln, die natürlich am stärksten geschädigt werden, müssen aber auch die in etwas tieferen Erdschichten belegenen durch Fortpflanzung des ausgeübten Druckes beeinflußt werden, nur entsprechend weniger, wie ja auch eine Walze in die Tiefe wirkt. Da es sich indes bei der Wirkung des bloßen Aufschlages nur um eine mechanische Beanspruchung der die Bodenkrümel zusammen-

[1]) Vgl. auch weiter unten.

[2]) Um das Beispiel nicht unnötig zu verwirren, ist auf die Wirkung des vermehrten Druckes auf das Schmelzen und das dann eintretende Wiedergefrieren keine Rücksicht genommen.

haltenden Kolloide handelt, so werden die Wirkungen zumeist nur mäßige sein und das Bodengefüge nicht in allzu weitgehendem Maße verändern. Dies würde wohl nur dann eintreten, wenn vor dem Eintritt des Hagels der locker gelagerte Boden mit Wasser ziemlich gesättigt ist, so daß infolge der zusammenschlagenden Wirkung der niederfallenden Körner Wasser austritt und dann durch den weitergehenden Hagelschlag die ohnehin infolge der Sättigung mit Wasser weniger widerstandsfähigen Bodenkolloide nun mit den anderen Bodenteilen zu einem Schlammbrei verrührt werden können. Aber auch hier würde die stärkste Wirkung noch ausbleiben müssen, da das im Boden vorhandene Wasser, häufig mit Kalksalzen mehr oder weniger gesättigt, nicht die stark quellende und lösende Wirkung auf die ausgeflockten Bodenkolloide ausüben könnte wie das sehr reine Regenwasser.

In Wirklichkeit wird diese zweite Wirkung, die der Salzarmut unserer Niederschläge, nahezu stets neben die Prallwirkung treten und so deren Einfluß ganz gewaltig verstärken.[1]) Denn auch Hagel wird zu Wasser zerfließen, wenn er nicht gerade auf gefrorenen Erdboden fällt, der außerdem gegen mechanische Einflüsse besonderen Widerstand zu leisten vermag.[2]) Zum mindesten zerschmilzt der Hagel in der ersten Zeit, bevor der Boden durch die dafür erforderliche Wärmeabgabe sich abgekühlt hat. Noch mehr ist selbstverständlich die Prallwirkung des Regens mit der Wirkung sehr salzarmen Wassers auf den Boden und seine Kolloide verbunden. Bei Zerfließen von Schnee im Tauwetter tritt diese uns, von der Prallwirkung losgelöst, allein gegenüber. — Es mag noch ergänzend darauf hingewiesen sein, daß Hagel, entsprechend der oft recht erheblichen Größe seiner Einzelkörner, wie deren Härte, in unseren Klimaten an Prallwirkung den Regen zumeist weit übertreffen wird. Was die Regentropfen selbst anbelangt, so kennt jedermann die sehr wechselnde Größe[3]) und die

[1]) F. Schindler, Pflanzenbau auf physiolog. Grundlage, allgemeiner Teil (1896) 239.

[2]) E. Wollny, Forsch. Geb. Agrikulturphysik **20**, 440 (1897/98).

[3]) Die feinsten Regentropfen dürften 0,3—0,13 mm Durchmesser haben. Ausnahmsweise fand sich 0,09 mm. Vgl. G. Dines, Quaterl. journ. Meteorol. Society **5**, 156 (1880). Weiter J. Wiesner, Ann. jard. botan. Buitenzorg **15**, 277 (1897), wo als Höchstgewicht eines tropischen Regentropfens 0,16 g angegeben sind. Über Endgeschwindigkeiten und Größe von Regentropfen vgl. auch P. Lenard, Meteorol. Zeitschr. **21**, 252, 254, 257 (1904); J. Hann, Lehrb. Meteorologie, 1. Aufl. (1901) 300. J. Wiesner, Sitzungsber. math. naturw. Kl. Kais. Akad. d. Wiss. **104** (1), 1421, 1427, 1433 (1895); H. Allen, Amer. Meteorolog. Journ. **4**, 206 (1887/88); Rohrer, Sitzungsber. math. naturw. Kl. Kais. Akad. d. Wiss. **35**, 211 (1859).

ebenfalls sehr ungleiche, unter Umständen durch den Wind verstärkte Prallwirkung[1]) derselben und weiß ebenso, daß den Schneeflocken infolge ihres fallschirmartigen Herabschwebens keine Prallwirkung zukommt.

Den Einfluß sehr reinen Wassers, wie dies das Regenwasser in der Regel ja ist, auf das Bodengefüge hat nun Th. Schlösing d. Ä. bereits sehr deutlich feststellen und erklären können.[2]) Im Anschluß an seine Untersuchungen müssen wir uns vorstellen, daß der Regen zunächst die etwa in den oberen Bodenschichten vorhandene, mit Salzen, und zwar besonders mit unter dem Einfluß der Bodenkohlensäure gelöstem Kalk gesättigte Feuchtigkeit verdrängt und an ihre Stelle das salzarme Regenwasser treten läßt. Es wird auch direkt Kalziumkarbonat, das gleichfalls die Bodenkrümel zu festigen vermag, in Lösung gehen. Wenigstens kann nach P. Kossowitsch bei der Schlämmanalyse durch reichliche Wassermengen viel Kalk gelöst werden, der zum Teil die Krümel zusammengehalten hat. Bei Lößböden konnte so ein Verlust bis 14% durch das Verfahren der mechanischen Analyse nach Fadejeff-Williams verursacht werden.[3]) — Gleichzeitig mit solcher Wirkung zerschlagen die Regentropfen die oberste Krümelschicht des Bodens. Denn die ausgeflockten Bodenkolloide, welche[4]) infolge ihrer Einordnung im Boden als Überzüge der anderen Teilchen leicht und schnell in dem salzarmen Wasser aufquellen müssen, verlieren bereits hierdurch einen Teil ihrer Klebkraft, genau wie dies ja jedem Klebemittel anderer Art gehen würde. Weiter aber findet schneller oder langsamer, durch die Bewegung der Teilchen infolge des Aufschlagens der Tropfen begünstigt, eine Auswaschung der die Bodenkolloide, z. B. den Kolloidton, im koagulierten Zustande erhaltenden Salze, etwa der Kalksalze, statt. Sie ist nach Th. Schlösing d. Ä. bei Erdboden auch durch salzarmes, destilliertes Wasser auf dem Filter im Laboratorium nachzuahmen.[5]) In ähnlicher Weise ist ja auch die Humussubstanz durch Auswaschen mit salzarmem Regenwasser teilweise in Lösung zu bringen und zwar schneller, so-

[1]) Vgl. J. Wiesner, a. a. O.

[2]) Th. Schlösing d. Ä., Ann. Chim. Phys. (5) **2**, 520 (1874). Derselbe, Compt. rend. **70**, 1347 (1870).

[3]) P. Kossowitsch, Journ. exp. Ldw. **1**, 401 (1900).

[4]) Vgl. über ihre klebenden Wirkungen im Boden u. a. Th. Schlösing d. Ä., Compt. rend. **74**, 1408 (1872); R. Warington, Lect. some physic. propert. soil (Oxford 1900) 25, 27; J. M. van Bemmelen, Landw. Versuchsstat. **35**, 69 (1888), und andere.

[5]) Th. Schlösing d. Ä., Ann. Chim. Phys. (5) **2**, 521 (1874). Ebenso R. Warington, a. a. O. 32.

weit sie nicht an Kalk und ähnliche Basen mehrwertiger Metalle gebunden ist, sonst langsamer.[1]) — Der Erfolg des Regens ist auf diese Weise, daß die etwa nur durch Austrocknen oder sonst in schwächerem Maße ausgeflockten, die Krümel zusammenhaltenden Bodenkolloide rascher, die durch Kalk und andere, stärker eingreifende Faktoren in den gleichen Zustand versetzten langsamer sich durch Wasseraufnahme dem Zustand nähern, in dem sie, nicht mehr ausgeflockt, die klebende Beschaffenheit verlieren. Aber schon bevor dies völlig eintritt, wird ihre Klebkraft bereits so weit vermindert sein, daß sie die Krümel des Bodens nicht mehr gegenüber der Prallwirkung des Regens zusammenzuhalten vermögen. Bei stärker zusammengesetzten Krümeln wird dies natürlich zunächst für die oberen und äußeren Flächen derselben gelten.[2]) So tritt denn je nach Stärke und Dauer des Regens, wie auch je nach dem vorherigen Strukturzustand des Bodens eine Auflösung der Bodenkrümel in ihre Einzelbestandteile bald vollkommener, bald weniger umfassend ein. Dabei wird infolge der mechanischen Erschütterungen durch die auffallenden Tropfen der entstehende, die Bodenteilchen vereinzelt enthaltende Schlammbrei sich, soweit dies möglich ist, sehr eng zusammensetzen[3]) und so für später die Veranlassung zu Krustenbildungen geben können. Zunächst übt er aber aus eben demselben Grunde eine günstige Wirkung auf den Boden aus, indem er die unter ihm liegenden, noch in Krümelstruktur befindlichen Bodenlagen in gewisser Weise vor dem Einfluß des Regens schützt.[4]) Allerdings ist dieser Schutz weder ein lange andauernder, noch ein vollständiger. Denn schon bei der Nachahmung solchen Auftreffens von salzarmem Wasser auf locker gelagerte, in guter Struktur befindliche Erde kann man im Laboratorium feststellen, daß sich das durch die Erde hindurchgewaschene Wasser mit der Zeit trübt.[5]) Es nimmt die feinsten Bodenteilchen, unter ihnen aber besonders die Boden-

[1]) R. Miklauz, Zeitschr. Moorkult. Torfverwert. **6**, 325 (1908). Auch W. Thaer, a. a. O.

[2]) Vgl. auch F. Haberlandt, Wissensch. prakt. Unters. Pflanzenbau **1**, 8 (1875).

[3]) Vgl. E. Wollny, Forsch. Geb. Agrikulturphysik **2**, 264 (1879).

[4]) Th. Schlösing d. Ä., E. Frémy's Encyclop. chim. **10**, 64 (Paris 1885).

[5]) Derselbe, Ann. Chim. Phys. (5) **2**, 514 (1874). Ebenso F. Haberlandt, Wissensch. prakt. Unters. Pflanzenbau **1**, 8 (1875); ferner Adolf Mayer, Forsch. Geb. Agrikulturphysik **2**, 258, 260 (1879). Auch W. Bagger scheint hierher gehörige, von ihm selbst freilich etwas anders gedeutete Beobachtungen gemacht zu haben, Inauguraldissertation (Königsberg 1902) 56.

kolloide, mit sich in die Tiefe.[1]) — Auf solche Art und Weise hat man sogar schon bei Versuchen die im Boden enthaltenen Kolloide wenigstens teilweise erhalten und untersucht.[2]) — Jedenfalls wird dadurch mit der Zeit eine Verstopfung der tiefer gelegenen Bodenporen eintreten, die zu wesentlich langsamerem Durchfluß des Wassers führen muß.[3]) Dieser ist für die weitere Änderung des Bodengefüges nun unter Umständen, nämlich wenn es sich nicht um sehr starke, den Boden völlig aufweichende Niederschläge handelt, insofern wichtig, als dann das salzarme Wasser eher Gelegenheit hat, aus dem Boden Salze oder auch wohl Kohlendioxyd aufzunehmen und nun seine Wirkungen gegenüber den Bodenkolloiden zu ändern, sie nicht weiter zu zerstören.[4]) Andererseits freilich werden so bis zu der Tiefe, in welche die vom Wasser mitgeführten feinen Bodenteilchen und besonders Bodenkolloide gelangen, die Kapillaren und Poren zwischen den Bodenkrümeln, wie die in diesen selbst befindlichen Hohlräume mehr oder weniger verstopft. Es kommt auf diese Weise größtenteils zu einer Vernichtung der günstigen Bodenbeschaffenheit selbst dort, wo die Krümel noch nicht in ihre Bestandteile aufgelöst werden. Jedenfalls erklärt sich so die schädigende Wirkung des Regens auf das durch mechanische Bearbeitung und andere Einwirkungen mühevoll erzielte Bodengefüge.[5]) Daß dabei je nach Größe und Gewalt der Niederschläge wie nach der Beschaffenheit des Landes die Wirkungen sehr wechselnde sein müssen, sei noch einmal hervorgehoben. So wird zum Beispiel bei sehr geringem Vorhandensein von Kalk der Humusgehalt des Bodens solche Mitnahme feiner Teilchen durch das nach unten sinkende Wasser fördern, wie überhaupt humushaltiges Wasser auch feinste Sande stark in Aufschwemmung zu erhalten vermag.[6]) Ähnlich wirkt schwächere alkalische Reaktion.[7]) Auf hiermit in

---

[1]) Für Ton wies hierauf u. a. auch schon W. Schumacher hin. Vgl. dessen Ackerbau (Wien 1874) 74. Weiter S. Johansson, zit. n. Intern. Mittlg. Bodenk. **3**, 589 (1913). G. C. J. Mohr, Bull. Départ. Agric. Indes Néerland. **47**, 59/60 (1911).

[2]) W. Thaer, Preisschr. (Göttingen 1910) 108. — [3]) Ders. a. a. O. 34.

[4]) Th. Schlösing d. Ä., Ann. Chim. Phys. (5) **2**, 514 (1874).

[5]) P. P. Dehérain: „Weil jeder Regen die Bodenlockerung wieder teilweise zerstört" . . . Ann. agronomiques **23**, 216 (1897); E. W. Hilgard, Forsch. Geb. Agrikulturphysik **2**, 448 (1879).

[6]) Es sei an eine eigenartige Beobachtung W. Hennebergs erinnert, nach der das Wasser eines Moorbaches so viel sehr feinen Bleisand (ausgebleichten Sand) enthielt, daß damit getränkte Tiere durch Sandanhäufung in den Eingeweiden erkrankten, Journ. Landw. **5**, 190 (1857). Ähnliches über starken Gehalt amerikanischer Flüsse an feinsten, sich nicht absetzenden Teilchen bei H. Bitter und E. Gottschlich, Zeitschr. Hyg. u. Infektionskrankh. **59**, 378 (1908).

[7]) Vgl. z. B. A. D. Hall, The Soil (London 1908) 39.

Zusammenhang stehende wichtige Umstände wird noch später näher einzugehen sein. Es sei hier nur noch auf die Einwirkung der Temperatur hingewiesen. Fällt Regen auf erwärmten Boden, so wird das Wasser sich, da die überwiegende Menge der Bodenbestandteile mit der Temperatur steigende Löslichkeit in Wasser aufweist,[1]) weitaus schneller mit Salzen anreichern, als wenn wir nur wenige Grade über Null haben. Dazu kommt noch, daß der Kohlensäuregehalt der Bodenluft innerhalb der in der Natur gewöhnlichen Grenzen bei erhöhter Temperatur ein wesentlich größerer sein muß.[2]) So ist zu erwarten, daß die verschlämmende, Krümel zerstörende Wirkung des Regens bei kühler Temperatur unter sonst gleichen Bedingungen stärker hervortreten wird, was ja auch wohl den praktischen Beobachtungen entspricht.

Nach den beiden bislang behandelten Arten der Einwirkung von Niederschlägen auf die Bodenkolloide, Prallwirkung und Einfluß der Salzarmut des Wassers, ist kurz noch eines dritten Umstandes, der elektrischen Ladung der Niederschläge zu gedenken. Zwar kommt die für den Gebrauch von Fernsprechleitungen oft störende elektrische Wirkung

[1]) Auch Gips z. B. zeigt ja wenigstens bis zu seinem Löslichkeitsmaximum bei 40° dies Verhalten. Vgl. V. Rothmund, Löslichkeit u. Löslichkeitsbeeinfluss. (Leipzig 1907) 97.

[2]) Die Zersetzung der organischen Stoffe im Boden geht bei den in der Natur vorkommenden Wärmegraden recht annähernd nach dem Gesetz von der Temperaturwirkung auf die Reaktionsgeschwindigkeit von J. H. van't Hoff vor sich. Man vergleiche:

	Temperatur in Graden				
Kalksand mit Torfpulver:	10	20	30	40	50
CO_2 in Volumprozenten gebildet	0,54	1,16	2,07	3,20	4,24
Desgleichen berechnet	—	1,08	2,16	4,32	8,64
Komposterde mit 6,8% Wasser:					
CO_2 in Volumprozenten gebildet	0,20	0,32	0,69	1,47	2,52
Desgleichen berechnet	—	0,40	0,80	1,60	3,20
Komposterde mit 26,8% Wasser:					
CO_2 in Volumprozenten gebildet	1,84	5,43	6,35	8,00	8,15
Desgleichen berechnet	—	3,78	7,56	15,12	30,24

Diese Zahlenergebnisse Wollnyscher Versuche würden sich sehr wahrscheinlich noch besser an die berechneten Werte anpassen, wenn sie nicht nur den Durchschnitt der Ergebnisse je zweier oder dreier Versuche darstellten. Außerdem wirkt bei ihnen außer der steigenden Wärme auch noch der Wassergehalt des untersuchten Bodens, der zumal bei höheren Temperaturen und größerem Wassergehalt die dann auch sonst eintretenden Hemmungen verstärken wird, wie der letzte Versuch zeigt. Deshalb sind einige Versuche E. Wollnys mit noch höheren Wassergehalten hier gar nicht wiedergegeben. Vgl. E. Wollny, Zersetz. organ. Stoffe u. Humusbild. [Heidelberg 1897] 122; Journ. Landw. **34**, 213 (1886).

des Hagels für den Boden wohl kaum nennenswert in Betracht. Doch auch die Regentropfen zeigen je nach den Umständen elektrische Ladungen,[1]) die zumeist bei Platzregen ziemlich stark sein können. Da nun der Ladungssinn der in Wasser aufgeschwemmten Teilchen für die Beständigkeit der Trübungen von Bedeutung sein kann, so ist zum mindesten die Möglichkeit vorhanden, daß auch die elektrische Ladung der Niederschläge unter Umständen eine gewisse schwache Beeinflussung der Bodenkolloide mit sich bringt. Es tritt weiter die durch Zerstieben der Wassertropfen auf dem von Wasser überdeckten Erdboden veranlaßte Ladung dieser Wasseroberfläche hinzu, wie sie von P. Lenard[2]) und anderen[3]) festgestellt und untersucht wurde. Doch sind die Verhältnisse hierbei so verwickelt, daß sich irgendwelche Schlüsse bezüglich der Niederschlagswirkung auf die Bodenkolloide noch nicht ziehen lassen.[4]) Der im Laufe eines längeren Regens an der Oberfläche des Bodens wechselnde Gehalt des Wassers an gelösten Stoffen wird jedenfalls dabei eine Rolle spielen.

Damit wären mit einer Ausnahme[5]) die Wirkungen der Niederschläge auf die Kolloide des Bodens besprochen, soweit sie sich sogleich oder in kurzer Zeit äußern. Weit wichtiger sind aber die im Laufe längerer Zeit allmählich eintretenden Folgen, denen wir nun Beachtung zu schenken haben.

b) Untergrundbildung.

Wie ich soeben schon ausführen konnte, wird der Regen durch seinen Aufprall, vor allem aber, weil er aus sehr salzarmem Wasser besteht, die Bodenkrümel in größerem oder geringerem Umfange zerstören um dann, im Boden versinkend, feinste Sande, wie besonders eigentliche Bodenkolloide mit sich in die Tiefe zu nehmen. Handelt es sich nun um kürzeren Regen bei wärmerer Jahreszeit, so kommt es gar nicht zur nennenswerten Auflösung von Krümeln oder aber bald zur ausreichenden Aufnahme von Kohlensäure oder doppeltkohlensaurem Kalk aus dem Boden in die Flüssigkeit und damit zur Ausflockung der hinabfließenden Bodentrübung, die nun an dazu geeigneten Stellen in den Bodenhohlräumen sitzen bleiben wird. Bei länger dauerndem Regen in kühler Jahreszeit aber, wie das für unser Klima im Herbst und zeitigen Frühjahr häufig

---

[1]) J. Elster und H. Geitel, Ber. Wiener Akad. Wiss., Abt. 2a, 421 (1890).

[2]) P. Lenard, Ann. Phys. u. Chem. **46**, 584 (1892).

[3]) K. Kaehler, Ann. Phys. u. Chem., 4. Folge **12**, 1119, bes. 1130 (1903). Dort in Anmerk. 2 Aufzählung weiterer Literatur.

[4]) P. Ehrenberg, Mitteil. landw. Inst. Univ. Breslau **4**, 473 (1908).

[5]) Dem Quellen des Bodens, worüber auf Seite 192 u. f. gehandelt wird.

der herrschende Witterungscharakter ist, muß die Verarmung der oberen Bodenschichten an löslichen Salzen eine stärkere sein, zumal weniger Kohlensäure im Boden gebildet und die salzhaltigere Bodenlösung durch das Regenwasser nach unten hin verdrängt wird. Es kann demnach auch nicht so bald durch Ausflockung der im Regenwasser hinabsinkenden Bodenkolloide und feinsten Sande einer Veränderung des Bodens ein Ziel gesetzt werden. So kommt es langsam, aber unvermeidlich zu einer Verminderung des Gehalts der oberen Bodenschichten an feinsten Teilchen und zwar um so schneller und ausgiebiger, je weniger der Boden durch seine allgemeine Zusammensetzung zusammenballend wirkende Salze, besonders sauren kohlensauren oder vielleicht auch noch schwefelsauren und salpetersauren Kalk, zu liefern vermag.[1]) Dies, in Verbindung mit der Zerstörung der Bodenkrümel in den oberen Schichten, führt nun zunächst zu einer dichteren Lagerung des Bodens.[2]) Er enthält dann weniger Porenraum, weniger Luft, und wenn er angefeuchtet wird, vermag er demnach auch das Wasser nur langsamer in die Tiefe zu leiten, was dann natürlich wieder bei erneutem, besonders bei stärkerem Regen die Gefahr weiterer Zerstörung der Bodenkrümel steigert. Daß durch die Einwirkung salzfreien Wassers auf Erdboden zunehmend eine dichtere Lagerung und als Anzeichen dafür erschwertes Versinken des Wassers bedingt wird, lehren schon Beobachtungen M. Fescas.[3]) Auch E. Ramanns Arbeiten sind zu vergleichen.[4]) Besonders hat aber E. Wollny durch zahlreiche Versuche die Verdichtung des Bodens durch die Wirkung der Niederschläge nachgewiesen.[5]) Die starke Wirkung von Erschütterungen auf das dichte Zusammenlagern feuchten Erdbodens beobachtete F. C. Henrici,[6]) wenn auch bei ungleich stärkeren Einflüssen, als sie durch die hier in Betracht kommenden Regentropfen bei ihrem Aufprall verursacht werden können.

Der Umstand, daß gleichzeitig mit der Dichtlagerung der Gehalt der oberen Bodenschichten an feinsten Teilchen vermindert wird, mag zunächst noch dem Nachteile der Verdichtung des Bodens wenigstens für die oberen Schichten ein wenig entgegenwirken, da gröbere Teilchen sich allein

[1]) Solche Angaben auch bei H. W. Wiley, Journ. Amer. Chem. Soc. **16**, 1 ff. (1893), der auch auf die Bedeutung der Pflanzendecke für diese Verhältnisse hinweist.

[2]) O. Pitsch, Theorie d. Bodenbearb. (Dresden 1884) 87.

[3]) M. Fesca, Journ. Landw. **21**, 460 (1873).

[4]) E. Ramann, Waldstreu (Berlin 1890) 63.

[5]) E. Wollny, Forsch. Geb. Agrikulturphysik **12**, 33 ff. (1889).

[6]) F. C. Henrici, Ann. Phys. u. Chem., (5), **9**, 439 (1866).

nicht so dicht zusammenlagern können, wie bei Vermengung mit feinen und feinsten. Doch wird dieser Umstand kaum viel Hilfe schaffen können.

Durch den Regenfall und die sich an ihn anschließende Bildung kolloider Lösungen und Aufschwemmungen im herabsinkenden Wasser muß besonders deutlich eine Verarmung der oberen Bodenschichten an feinsten Teilchen dort herbeigeführt werden,[1]) wo weder durch dazu geeignete Düngesalze noch durch Bodenbearbeitung und ähnliches wesentlich dagegen angearbeitet wird. Dies ist in erster Linie im Walde der Fall, soweit er in der heute vielfach üblichen Weise in Kultur genommen und durch Kahlschlag genutzt wird. Während auch noch nicht wenige der heute vorhandenen Bestände erwachsen sind, ohne daß jemals der Boden der vollen Regenwirkung ausgesetzt gewesen wäre, stürzt nach einem Kahlschlag das Regenwasser in voller Menge und ohne erhebliche Minderung seines Aufpralls[2]) auf den zunächst sehr häufig nur recht schwach mit Gras u. dgl. bestandenen Boden, der außerdem durch die Gewinnung und Abfuhr des Holzes weitgehend aufgerissen ist. Demgemäß ist denn auch von verschiedenen Seiten[3]) festgestellt worden,[4]) daß unter solchen Umständen die oberen Bodenschichten an feinen Teilchen verarmen, die unteren sich an ihnen anreichern. E. Hoppe konnte wiederholt und fast bei allen untersuchten Böden solche Beobachtungen machen.[5]) In ähnlicher Weise führen ferner M. Fleischer, A. Salfeld und ihre Mitarbeiter die kurze Dauer der Wirkung von Seeschlick auf Moorboden auf das Durchgeschlämmtwerden der spezifisch schwereren Schlickteilchen durch Regen zurück.[6]) Auch die Entnahme der Waldstreu, der abgefallenen Blätter und Nadeln sowie der den Waldboden besiedelnden Beerkräuter u. dgl. muß, wenn

[1]) P. E. Müller, Stud. natürl. Humusformen (Berlin 1887) 184; vgl. auch folgende Seiten.

[2]) Vgl. dazu auch E. Hoppe, Mitteil. forstl. Versuchswes. Österr., Heft 21 (1896), H. Krutzsch, Tharandter Jahrb., **17**, Jubelband III, 106 (1866), sowie Fankhauser, Forsch. Geb. Agrikulturphysik **5**, 330 (1882), wonach die Baumkronen z. B. ein Viertel bis die Hälfte des Regenwassers zurückhielten.

[3]) Auf Grund seiner Untersuchungen von Waldboden kommt A. Baumann zu derartigen Ansichten, Naturw. Zeitschr. Forst- u. Landwirtsch. **1**, 459 (1892), ebenso E. Ebermayer, Lehre d. Waldstreu (1876) 191, 231.

[4]) Arbeiten von F. G. Stebler und Volkart blieben wegen Unzulänglichkeit der Untersuchungsmethode ohne Erfolg.

[5]) E. Hoppe, Zentralbl. ges. Forstwes. (1898) 1.

[6]) M. Fleischer, A. Salfeld u. a., Hannov. Land- u. Forstw. Ztg. Nr. 10—13 (1885); Zentralbl. Agrikulturchem. **10**, 207 (1881).

sie nicht unter großer Schonung stattfindet,[1]) ähnliche Folgen hervorrufen, weil die Regenwirkung auch durch diese Bodendecke abgeschwächt wird. Die hierfür bislang vorhandenen Untersuchungen können indes, da auch andere Umstände maßgebend in Frage kommen, uns keine voll befriedigenden Aufschlüsse geben.[2])

Auf dem Acker würde die Hinabspülung der Kolloide des Bodens[3]) und der infolge ihrer Feinheit leicht Aufschwemmungen bildenden Teilchen noch weitaus größeren Umfang annehmen müssen, der durch die Bodenbearbeitung bedingten lockereren Lagerung, und der zumal in der feuchten und kühlen Jahreszeit häufig ganz ohne Pflanzendecke liegenden Erdfläche halber.[4]) Doch ist einmal infolge der Düngung der Ackerboden häufig reicher an Kalksalzen, die einer Zerstörung und Auflösung der Bodenkrümel entgegenwirken und die lockerere Lagerung des Bodens begünstigt auch den Wasserabfluß.[5]) Immerhin kann trotzdem die Hinabspülung feinster Bodenteilchen auch im Ackerboden einen nicht unbedeutenden Umfang erreichen, wie schon von verschiedenen Seiten betont worden ist,[6]) ohne daß man sonderbarerweise diesem Umstande bislang genügende Aufmerksamkeit geschenkt hätte.[7]) Ja, man hat die durch den Versuch ermittelte dichte Lagerung

[1]) Vgl. E. Ramann, Waldstreu (Berlin 1890) 68. Vgl. weiter Landwirtsch. Jahrb. d. Schweiz **19**, 85 (1905). Dort, Seite 86, angegebene Werte dürften immerhin aber nicht gegen obige Anschauungen sprechen.

[2]) A. Stoeckhardt, Landw. Versuchsstat. **7**, 240 (1865); Tharandter Jahrb. **17**, Jubelband, III, 109 (1866); J. Hanamann, Vereinsschr. Forst-, Jagd- u. Naturkunde (1881) 48. E. Ramann, Waldstreu (Berlin 1890) 63.

[3]) Vgl. dazu auch E. Ramann, Zeitschr. deutsch. Geolog. Gesellsch. **67**, 298/302 (1915); dort noch zit.: B. Frosterus u. K. Glinka, Einteilg. Böden Nordw. Europ. Moränengebiet (Helsingfor 1914) 1; Erläuterung. Geol. Karte Bayern, Blatt Ampfing (1916) 54.

[4]) Auf den Einfluß des Fehlens einer Bodendecke für die Zusammenschlämmung der Bodenporen weist K. E. Sahlström hin. Zit. nach Intern. Mittlg. Bodenk. **3**, 589 (1913).

[5]) Vgl. über die günstige Wirkung der Lockerheit des Bodens in dieser Richtung auch Th. Siegert, Erläuter. geol. Spezialkarte Sachsen **31**, 30 (1886).

[6]) F. Haberlandt, Wissensch. prakt. Unters. Geb. Pflanzenbaues **1**, 8 (1875). A. Orth, Abhandl. geolog. Spezialkarte Preußen, 2. Heft, **2**, 106. R. Behrendt, ebendort, 2. Heft, **3**, 73 u. 94, (1877). J. Hazard, Landw. Versuchsstat. **24**, 248—249 (1880). F. H. King, U. S. Depart. Agric. Wheater Bur. **5** (1892), Ref. Forschungen a. d. Geb. d. Agrikulturphys. **18**, 86 (1895). A. Sauer, Erläuter. geolog. Spezialkarte Sachsen **80**, 2. Aufl. (1900) 89. G. Rother, Inauguraldissertation (Berlin 1912), 27/28. J. de Villiers-Malherbe, dgl. (München 1915) 25.

[7]) Von den mir bekannten Lehrbüchern der Bodenkunde widmet nur das von E. Ramann diesen Verhältnissen einige Beachtung. A. Mayer, Agrikulturchemie **2**, 1. Abt., 138 (Heidelberg 1914) bringt eine kaum in die Augen fallende Notiz.

der unmittelbar unter der Ackerkrume befindlichen Bodenschicht (25 bis 50 cm) auf „den bei der Bearbeitung jahrelang ausgeübten Druck" zurückgeführt,[1]) wo doch in der Hinabspülung feinster Teilchen ein mindestens gleich, wahrscheinlich aber erheblich mehr bedeutsamer Grund vorliegt.[2])

E. Wollny hat auch hier, wie auf so vielen Gebieten, experimentelle Belege zu geben versucht, ohne jedoch bei der Unvollkommenheit der Versuchsanstellung und der Schwierigkeit, den natürlichen Verhältnissen gerecht zu werden, brauchbare Ergebnisse zu erhalten.[3]) Dagegen finden sich bei W. Knop,[4]) F. Johnstrup,[5]) P. E. Müller,[6]) H. Girard (Deutschland),[7]) E. Ramann,[8]) A. Orth,[9]) Becker[10]) und G. Havenstein[11]) Mitteilungen, welche die Vermehrung der abschlämmbaren Teilchen in den tieferen Bodenschichten zumeist deutlich dartun. Ähnliches hat G. Thoms im Durchschnitt seiner zahlreichen Bodenuntersuchungen in Kurland feststellen können,[12]) und besonders H. Puchner[13]) für bayerische, M. Bräuhäuser[14]) für württembergische Böden.

Große Reihen von mechanischen Bodenuntersuchungen F. W. Foremans,[15]) die jeweils Oberkrume und Untergrund zusammenstellen, zeigen für die untersuchten Böden, besonders die schwereren, nahezu stets erheblich größere Gehalte des Untergrundes an „Clay".[16]) A. D. Hall

[1]) G. Havenstein, Landw. Jahrb. **7**, 306 (1878).

[2]) Über den Einfluß sehr geringer Mengen feinster Teilchen auf die Wasserdurchlässigkeit feinster Sande vgl. Thieme, Gesundheitsingenieur **31**, 321 (1908).

[3]) E. Wollny, Forsch. Geb. Agrikulturphysik **18**, 201 (1895).

[4]) W. Knop, Landw. Versuchsstat. **23**, 200 (1879).

[5]) F. Johnstrup, Fugtighedens Bevägelse naturl. Jordbund, Kgl. Danske Widensk. Selskab Skr. V. R. **7**, 413, 447.

[6]) P. E. Müller, Stud. natürl. Humusformen 61, 111 u. 112, 300 u. 301 (Berlin 1887).

[7]) H. Girard, Norddeutsche Ebene (Berlin 1855) 98.

[8]) E. Ramann, Waldstreu (Berlin 1890) 41.

[9]) A. Orth, Geognost. agronom. Kartierung (Berlin 1875) 15.

[10]) Becker, Journ. Landw. **48**, 143 (1900).

[11]) G. Havenstein, a. a. O. 302.

[12]) G. Thoms, Journ. Landw. **44**, 322 (1896).

[13]) H. Puchner stellt wenigstens — Intern. Mittlg. Bodenk. **3**, 183 (1913) — für tiefere Bodenschichten ein größeres Zusammenhalten des Bodens fest, und anderseits eine Zunahme der feinsten Teilchen („Schlamm" nach Fadejeff-Williams) mit Steigen des Zusammenhaltens (Kohäreszenz); ebenda 197.

[14]) M. Bräuhäuser, Erl. Geol. Spezialkarte Württembg., Bl. Friedrichshafen-Oberteuringen **179/174**, 107, 109 (1915).

[15]) F. W. Foreman, Journ. Agricult. Science **2**, 168, 171, 172, 174, 176, 180 (1907).

[16]) „Clay" enthält nur Teilchen unter 0,002 mm Durchmesser. Vgl. a. a. O. 166.

stellte für Vollbrache (Broadbalk Feld) an Teilchen mit einem Durchmesser unter 0,002 mm fest: in den ersten 9 Zoll 17,6%, in den zweiten 9 Zoll 28,7%, in den dritten 9 Zoll 40,0%, und fand entsprechende Zahlen für die in konzentrierter Salzsäure lösliche Tonerde des geglühten Bodens.[1]) Angaben R. Sachsses und eine Untersuchungsreihe H. Hellriegels lassen sich ferner noch anführen.[2]) Auch E. J. Russell nimmt an, daß der Untergrund „normal" mehr Ton als die Krume enthält. — Durchaus diesen Anschauungen entsprechend wies schon A. von Rosenberg-Lipinsky darauf hin, daß „dem Unterboden die Porosität fehle".[3]) Sogar bei einem weit weniger als unsere heimischen Ländereien durchgewaschenen Boden, der russischen Schwarzerde, zeigt sich eine merkbare Verminderung der Porosität mit zunehmender Tiefe, wie G. Wyssotzky und W. Wiemer feststellten.[4]) So dürfen wir immerhin wohl mit Recht annehmen, daß die dichtere Lagerung und die ganze „rohe" Beschaffenheit des Untergrundes, wie unsere Ackerböden in Deutschland sie in der Regel aufweisen, wesentlich als die direkte oder indirekte Folge der Hinabspülung feinster Teilchen aus den oberen Bodenschichten anzusehen ist.[5])

Man wird hiergegen vielleicht einwenden, daß der Untergrund eben nie von den Ackergeräten aufgelockert wird, wenigstens in seinen tieferen Schichten, und daß man hierin eine weitaus näherliegende Ursache seiner meist ungünstigen Beschaffenheit sehen müsse. Dem ist aber einmal entgegenzuhalten, daß doch der ebenfalls vielfach seit Jahrzehnten, ja Jahrhunderten auch in seinen oberen Schichten nicht gelockerte Boden von Wiesen oder Weiden durchaus nicht als „roh" im Sinne des Untergrundes derselben angesehen werden kann. Weiterhin ist aber durch die Kenntnis

---

[1]) A. D. Hall, Book Rothamsted Experiments (London 1905) 26.

[2]) R. Sachsse führt diesbezüglich, was auch zur Lockerung, zum mangelnden Schutz des Bodens vor Regen und zur Förderung der Hinabwaschung durch Humuskolloide usw. in Beziehung gebracht werden kann, folgendes an: „Es ist eine hier und da dem praktischen Landwirt bekannte Erfahrung, daß in erst kürzlich gerodetem Walde zur Entwässerung gelegte Tonröhren sehr bald durch feine Bodenbestandteile verstopft werden, während dies auf längst urbar gemachtem Felde seltener vorkommt." Lehrb. d. Agrikulturchemie, 225 (Leipzig 1888). — H. Hellriegel, Grundlag. d. Ackerbaues (1883) 718, 726, 731.

[3]) A. von Rosenberg-Lipinsky, Praktische Ackerbau, 7. Aufl. **2**, 138 (Breslau 1890). Größere Porosität und geringer Gehalt an feinen Teilchen sind natürlich nicht gleichbedeutend, doch hier voraussichtlich Kennzeichen gleicher Bodenzustände. — E. I. Russell-H. Brehm, Boden u. Pflanze, 192 (Dresden 1914).

[4]) Zit. nach P. Kossowitsch, Schwarzerde, 107/8, weiter dazu 74 und 135 (Berlin 1912).

[5]) Vgl. noch E. W. Hilgard Forsch. Geb. Agrikulturphysik **16**, 99 (1893).

der Verhältnisse in regenarmen Ländern, wie wir sie z. B. in Kalifornien und vielen anderen „ariden“ Gegenden vorfinden, ein äußerst wichtiges Vergleichsmaterial von Böden geschaffen, welche infolge geringer Niederschlagsmengen eine solche Hinabspülung nicht erleiden können. Ist unsere Annahme richtig, daß die Bildung des Untergrundes in seiner uns bekannten Form des rohen Bodens wesentlich durch das, feinste Teilchen hinabspülende, salzarme Wasser der Niederschläge bedingt ist, so müßte der Boden solcher ariden Gegenden keinen Untergrund in unserem Sinne aufweisen. Und das ist auch der Fall, was zuerst E. W. Hilgard[1]) scharf hervorhob. F. Wohltmann kennzeichnete diese Tatsache dann aus eigener Anschauung folgendermaßen: „Wenn man bei uns in Deutschland aus einem Graben den Untergrund auswirft, so wächst gewöhnlich im ersten Jahre auf der Grabenkante nichts. In Amerika“ — F. Wohltmann spricht von den regenarmen, den „ariden“ Gebieten — „kann man auf dem Felde den Untergrund 5—6 m tief auswerfen und darauf neue Kulturen, Pfirsichbäume und Weinreben, ebenso gedeihen sehen, wie nebenan auf der alten Oberkrume.“[2]) Endlich hat unser Landsmann E. W. Hilgard, der während seiner langjährigen Forschertätigkeit in Nordamerika wohl der beste Kenner der Unterschiede von Böden niederschlagsreicher und niederschlagsarmer[3]) Gegenden geworden ist, eingehend darauf hingewiesen, daß in den ersten die tiefer gelegenen Schichten, also der Untergrund, beinah allgemein[4]) mehr feinste, tonige Substanz enthält, als die Oberkrume. Auch vertritt E. W. Hilgard durchaus die Anschauung, daß der Unterschied in dem Verhalten tieferer Bodenschichten bei Böden humider Gegenden gegenüber denen arider erheblich mit der Durchschlämmung der feinsten Teilchen zusammenhängt.[5])

So kann man mit kurzen Worten überhaupt die Bildung des „rohen, toten“ Untergrundes für die Mehrzahl unserer Böden auf den Vorgang der Hinabspülung feinster Bodenteilchen[6]) durch das salzarme Wasser

---

[1]) Ebenda, 98—99, besonders 99 Anmerk. 1.

[2]) F. Wohltmann, Arb. Deutsch. Landw.-Gesellsch. **97**, 15 (1904); vgl. auch dieselben Arbeiten **119**, 9 (1906).

[3]) Die eigentlich in der Wissenschaft üblichen Bezeichnungen „humid“ und „arid“ decken sich nicht ganz mit den oben gebrauchten Worten. Sie bezeichnen richtig, daß in dem ersten Fall die Niederschläge die Verdunstung überwiegen, was auch, wie z. B. im Polgebiet, bei sehr geringen Niederschlägen, aber noch geringerer Verdunstung möglich ist. „Arid“ bedeutet dann ein Überwiegen der Verdunstung gegenüber den Niederschlägen.

[4]) „Almost universally“; vgl. E. W. Hilgard, Soils (Neuyork 1906) 161.

[5]) E. W. Hilgard, a. a. O. 160 u. 163.

[6]) Vgl. dazu auch unten Seite 382, 387, 410, 468 wie 481.

der Niederschläge zurückführen.[1]) Erst infolge der Verengung und Verstopfung der Bodenporen in den tieferen Schichten kommt es dann zu mangelhafter Zufuhr von Luft und Sauerstoff und weiterhin zu einer Verringerung der Anzahl nützlicher Kleinlebewesen, deren Beweglichkeit übrigens auch schon durch die Anreicherung feinster Teilchen unten im Boden beeinträchtigt wird.[2]) Hieran schließen sich dann weiter ungünstige Reduktionsvorgänge, Bildung pflanzenschädlicher Stoffe und ähnliche nachteilige Kennzeichen des „toten" Bodens. Natürlich wird der als letzte Ursache für dies alles in Betracht kommende Durchschlämmungsvorgang nur sehr allmählich verlaufen. Denn wenn auch, wie später zu zeigen sein wird, gewisse Umstände ihn zu fördern vermögen — z. B. wies schon E. Fickendey[3]) und im Anschluß an ihn G. Keppeler[4]) auf den Einfluß der alkalischen Reaktion bei Gegenwart von Humusstoffen für die Struktur der Böden hin, P. E. Müller auf die Bedeutung des Frostes[5]) —, so wirken ungleich mehr Umstände dagegen, deren einige bereits erwähnt wurden. Als auch für Ackerboden bzw. Wiese und Weide bedeutsam sei die Schutz gegen Regen bietende Beschattung des Bodens durch blattreiche Pflanzen genannt, die sowohl den Anprall mäßigt oder wohl ganz aufhebt, wie auch die den Boden benetzende Regenmenge vermindert.[6]) Weitaus wichtiger ist aber die Tätigkeit des Pfluges. Man hat in wohl etwas einseitiger Weise bald die durch Lockerung des Bodens hervorgerufene Minderung der Energieaufwendungen der Pflanze beim Durchdringen der Erde als eigentliche Aufgabe des Pfluges hingestellt,[7]) bald das auf gleiche Weise ermöglichte Eindringen des Luftsauerstoffs.[8]) Aber auch in allgemeiner gehaltenen Würdigungen des Zwecks der Pflugarbeit ist der Bedeutung der wendenden Tätigkeit unseres Pfluges in der hier erwähnten Richtung meines Wissens noch nie in der nötigen Weise Er-

[1]) Vgl. auch P. Ehrenberg, Arb. Landwirtschaftskammer Hannover, Heft **32**, 51 (1912).

[2]) P. Ehrenberg, Koll.-Zeitschr. **3**, 205 (1908). Weiter O. Rahn, Zentralbl. Bakteriologie, (2), **35**, 429 (1912).

[3]) E. Fickendey, Journ. Landw. **54**, 347 (1906).

[4]) Nach brieflicher Mitteilung aus dem Jahre 1909.

[5]) P. E. Müller, Natürl. Humusform. (Berlin 1887) 187. Frost wird aber auch der Hinabwaschung entgegenarbeiten können, da er die Krümelbildung fördert.

[6]) C. von Seelhorst, Journ. Landw. **50**, 157 (1902).

[7]) A. Mitscherlich, Bodenkunde (1905) 124; Zeitschr. Landwirtschaftskammer Schlesien **13**, 248 (1909), Fühlings landw. Ztg. **58**, 386 (1909).

[8]) J. König, Journ. Landw. **28**, 221 (1881). Beide Ansichten vereint schon bei F. Home, Grundsätze d. Ackerbaues, übers. I. C. Wöllner, 2. Aufl. (1763) 150.

wähnung getan worden.[1]) Und doch erscheint sie nicht gering. Wo regelmäßig der Boden nicht ganz geringe Zeiträume hindurch ohne Pflanzenkleid der Wirkung der Niederschläge preisgegeben ist und noch dazu in recht gelockertem Zustande, müßte trotz der Gegenwirkung von Kalksalzen, die etwa als Dünge- oder Bodenverbesserungsmittel gegeben sind oder sich auch von Natur im Boden vorfinden, und ähnlicher Hilfsmittel die Durchschlämmung feiner Teilchen im Laufe eines oder weniger Jahrzehnte einen ganz erheblichen Umfang annehmen. Ständig würden mit dem Regenwasser Kolloide und Aufschwemmungen feiner Bodenteilchen in die Tiefe verloren gehen und unter unseren klimatischen Verhältnissen, wo die Niederschläge die Verdunstung[2]) doch ganz erheblich überwiegen, keinesfalls durch die ohnehin viel schwächeren Kräfte des kapillar aufsteigenden Wassers in ausreichendem Maße wieder gehoben werden. So könnte eine rasche Verarmung der oberen Bodenschichten an feinen Teilchen gar nicht ausbleiben und müßte in weit erheblicherem Umfange, als wir sie wirklich feststellen können, in Erscheinung treten.

Der Pflug und seine wendende Wirkung sind es, die diese, für die dauernde Fruchtbarkeit unserer Äcker immerhin recht schwerwiegende Gefahr beseitigen. Um dies zu verdeutlichen, mag eine kurze Auseinandersetzung der Verhältnisse bei der sich nach dieser Richtung betätigenden Pflugwirkung nützen:

Wenn etwa auf einem beernteten Kartoffelfeld die herbstlichen Regengüsse die Kalksalze der oberen Schichten in die Tiefe gewaschen haben, so lösen sie mehr und mehr die Krümel und beginnen, Kolloide und Aufschwemmungen feiner Teilchen hinabzuführen. Je tiefer sie mit diesen kommen, um so mehr wird von der mitgebrachten Last infolge zunehmender Lösung von Kalksalzen aus dem Boden liegen bleiben. Denn diese lassen ja Kolloide wie Aufschwemmungen sich zusammenballen und verhindern so naturgemäß ihr weiteres Hinabsinken.[3]) Die von den ge-

---

[1]) Vgl. z. B. A. Blomeyer, Mechan. Bearb. d. Bodens 22, 24 (Leipzig u. Berlin 1879); O. Pitsch, Theorie d. Bodenbearbeitung (Dresden 1884) 94—95; G. Krafft-C. Fruwirth, Lehrb. d. Landw. 1, 105, 129, 153, 155 (Berlin 1910); K. von Rümker, Boden u. s. Bearbeitung, 5. Aufl. (Berlin 1912) 42 ff. Allenfalls könnte man Hinweise auf die Bedeutung der wendenden Tätigkeit des Pfluges finden bei G. J. Mulder, Chemie d. Ackerkrume, übers. J. Müller (Berlin 1863), 3, 253. Etwa auch noch bei R. Gans, Internat. Mitteilg. Bodenkunde, 3, 547, (1913).

[2]) Natürlich nur des Bodens selbst, ohne die etwa darauf wachsenden Pflanzen.

[3]) Solche Beobachtungen schon bei Fr. Schulze, Jahrbücher der kgl. preuß. landwirtschaftlichen Akademie Eldena 1, 81 (1848).

lösten Kolloiden und Bodentrübungen durchflossenen Erdschichten halten weiter, ganz wie ein Filter aus dickem Filtrierpapier, durch Oberflächenadsorption einen Teil davon zurück. Endlich nimmt bei nicht allzulange dauerndem Regen mit jedem Zoll nach der Tiefe zu die hinabströmende Wassermenge ab, da die durchflossene Erdmasse davon zurückhält. So vermindert sich für die zur Tiefe geführten Bodenteile das Transportmittel. Auch der steigende Kohlensäuregehalt — an der Oberfläche verliert die Bodenluft durch Austausch schneller ihren höheren Gehalt an diesem Gase —, die wohl auch durch das Gewicht der aufliegenden Bodensäule ein wenig verdichtete Lagerung der Bodenbestandteile aufeinander und so manches andere müssen auf Hemmung der hinabsinkenden Bodenteilchen hinwirken. Es wird also beim Ende des Winters und Vorfrühlings, wenn der Boden abzutrocknen beginnt, nur ein kleiner Teil der hinabgeführten Bodenkolloide und sonstigen feinen Bodenteilchen größere Tiefen erreicht haben. Die Mehrzahl wird noch nicht allzuweit von der Oberfläche entfernt sein, und nebenstehende Zeichnung mag rein schematisch diese Verhältnisse zu veranschaulichen versuchen.

Die Schraffierung soll die ungefähren Gehalte an heruntergewaschenen Bodenkolloiden andeuten

Abb. 9.

Kommt nun die Frühjahrsfurche, so wendet der Pflug die Ackerkrume und bringt so die Schichten, aus denen die Teilchen ausgewaschen sind, größtenteils nach unten, dagegen die mit ihnen mehr angereicherten nach oben[1]) (Abb. 9). Die Durchschlämmung ist unterbrochen, ja ins Gegenteil verwandelt, und die Niederschläge müssen ihre Arbeit größtenteils wieder von neuem beginnen; aber nur größtenteils. Ein kleiner, vielleicht sehr kleiner Teil von den Bodenkolloiden und Aufschwemmungen wird schon so tief hinabgeführt worden sein, daß er vom Pflug bei gewöhnlicher Furchentiefe[2]) nicht mehr emporgebracht wird.[3]) Er vermehrt so die Menge der in den tieferen Bodenschichten ohnehin schon — bei sonst gleichartigen Bodenverhältnissen — zahlreicheren feinsten Teilchen, die früher einmal hinabgewaschen wurden.

Immerhin sind aber die vom Pfluge nicht wieder in die Höhe gebrachten feinsten Teilchen zumeist nur ein außerordentlich geringer Bruchteil der durch die Niederschläge hinabgeführten; die weitaus über-

---

[1]) Ähnliche Anschauungen, indessen mehr für die Nährsalze, finden sich bei G. J. Mulder, Chemie d. Ackerkrume 3, 253 (Berlin 1863).

[2]) Anders zum nicht unerheblichen Teil bei der Tiefkultur, deren Bedeutung in dieser Richtung noch kaum gewürdigt worden ist.

[3]) Vgl. auch ähnliche Ansichten bei G. J. Mulder, a. a. O. 257.

wiegende Mehrzahl wird durch die wendende Arbeit des Pfluges der Ackerkrume erhalten. Daß dies wahrscheinlich früher nicht in diesem Maße der Fall war, als statt der gründlich wendenden Pflüge unserer heutigen Bodenbearbeitung die selbst in geübter Hand nur teilweise den Boden so gut umlegenden Haken, Zochen oder wie sie sonst hießen[1],) benutzt wurden, wird später zu besprechen sein, wenn noch einmal im Zusammenhang auf diese Fragen eingegangen wird, deren Hervorhebung aber auch hier unerläßlich schien, wo die Bildung des Untergrundes zu besprechen war.

c) Verarmung höherer Lagen an Bodenkolloiden.

Neben diese Hinabspülung der Bodenkolloide[2]), unter die wir ja auch die Aufschwemmungen der feinsten Sande u. dgl. rechnen wollen, — sie wird auch als „Durchschlämmen" bezeichnet —, kann noch bei geneigter Lage eine mehr seitliche Fortschwemmung treten, bei der in ganz gleicher Weise das Wasser die Bodenkolloide weiter fortführt.[3]) Nur geht in diesem Fall die Fortspülung nicht durch die oberen Schichten des Ackers hindurch nach unten, sondern an dessen geneigter Oberfläche der Tiefe zu.[4]) Es kommt so zu einer Verarmung der höher gelegenen Teile des Ackers an Kolloiden, die um so bedeutungsvoller ist, als hier kein Pflug dieselben in ihrem Lauf nach unten anhält und wieder zurückzwingt.[5]) Während sich so an tiefer gelegenen Stellen die Bodenkolloide in größerer Menge ansammeln[6]) und den Boden

---

[1]) Z. B. C. Fruwirth-G. Kraffts Lehrb. d. Landw. **1**, 109—110 (Berlin 1910).

[2]) Über die Hinabspülung bei Wiesen und Weiden vgl. noch E. Wollny, Saat u. Pflege landw. Kulturpfl. (1885) 714.

[3]) Vgl. auch R. Sachsse, Agrikulturchemie (Leipzig 1888) 234; W. Schumacher, Physik in Anwend. Agrikultur u. Pflanzenphys. **1**, 120 (Berlin 1864); S. V. Simon, Tropenpflanzer, Sonderdr. aus Nr. 9—12, **16**, 54 (1912).

[4]) Wichtig hierzu auch F. Schmalz, Erfahr. in d. Landw. **1**, 49 (1814). Weiter ebendort **4**, 149 ff. (1820), wo aus dem Altenburgischen geschildert wird, wie die Tatsache der Abschwemmung fruchtbarer Teile von hängig gelegenen Feldern eine ganz besondere Art der Feldbewirtschaftung mit sich gebracht hatte, und sogar ein Übermaß des Wiederzurückfahrens der Erde zu Schädigungen führte. Ferner E. Blanck, Vierteljahrsschr. Bayr. Landwirtschaftsrats **10**, 426 (1906).

[5]) In alten Zeiten hat man tatsächlich den herabgeschwemmten Boden unten im Tal in Gruben aufzufangen gesucht und ihn dann wieder emporgetragen. Vgl. C. Sprengel, Die Lehre von den Urbarmachungen (1838) 418, 420; J. N. von Schwerz, Anleitung zum praktischen Ackerbau **1**, 272 (Stuttgart und Tübingen 1823).

[6]) Dies spielt im Hochgebirge keine geringe Rolle: so schon G. E. W. Crome, Boden u. Verhältn. z. Gewächsen (Hannover 1812) 61; auch W. Graf zu Leiningen,

dort vielleicht übermäßig dicht und „schwer“ werden lassen,[1]) nehmen die oberen Stellen des Landes dann einen mehr sandigen Charakter an,[2]) beides eine Schädigung der Güte des Ackers nach mehr als einer Richtung hin.[3]) Es fand sich z. B. bei dahingehenden Bodenuntersuchungen,[4])

daß kiesiger Diluvialsand bei Neigung 1 : 4,5 . . . . 12,15%
bei ebener Lage 20,32%
bei Lage in einer Einsenkung, wohin die feinen Teilchen zusammengespült wurden 29,13%
Teilchen unter 0,15 mm Durchmesser aufwies.

Ebenso besaß Granitboden bei einer Neigung des Geländes
von 1 : 4 . . . . 15,83%
desgleichen von 1 : 8 . . . . 29,45%
desgleichen bei ebener Lage 34,22%
Teilchen unter 0,15 mm Durchmesser.

Solche Veränderungen treten aber nur sehr langsam ein und sind für den Beobachter, der nur mit Tagen oder wenigen Jahren rechnet, zumeist kaum merklich, wenn nicht besonders große Wassermengen in Betracht kommen. Gelegentlich kann man allerdings auch nach einem heftigen Regen beobachten, daß die vom Häufelpflug gezogenen Furchen eines Kartoffelackers durch von oben herabgeflossene Erde völlig eingeebnet sind oder daß Rübenpflanzen kaum noch mit dem Blatt aus dem zusammengeflossenen Erdreich hervorsehen. Dazu bedarf es gar nicht besonders großer Bodenneigung. Und das eigentliche, feinste Bodenmaterial wird von dem Wasser in die nächsten Gräben und noch viel weiter entführt. Woher stammt auch sonst der Erdboden, den der Landwirt von Zeit zu Zeit beim Reinigen der Gräben im Winter als wertvoll genug dem Komposthaufen zuführen läßt? Woher der feine Flußschlamm, der zum Teil bis zum Meer mitgeführt wird? J. Hazard hat besonders auch noch darauf hingewiesen, daß gerade die neuzeitliche Landwirtschaft, welche die alten Raine, Hutungen, längs der Berglehnen sich hinziehenden

Naturw. Zeitschr. Land- u. Forstwirtsch. **6**, 537 (1908); ist aber auch im Hügelland zu finden: M. Bräuhäuser, Erl. Geol. Spezialkarte Württemb., Bl. Friedrichshafen-Oberteuringen **179/174**, 127 (1915).

[1]) J. N. von Schwerz, Landwirtsch. in Westfalen u. Rheinpreuß. **1**, 348 (1837).

[2]) Vgl. besonders H. Girard, Norddeutsche Ebene (1855) 100; flüchtig berührt auch von J. Hazard, Landw. Versuchsstat. **24**, 248 (1880).

[3]) Vgl. C. Sprengel, a. a. O. 419.

[4]) J. Hazard, Landw. Jahrb. **29**, 905 (1900).

gewölbten und schmalen Beete[1]) und Terrassen beseitigte, damit dieser Abspülung gerade der feinsten Bodenteilchen erheblich Vorschub leistet. Ist weiter der Hang durch seine Lage zur Wetterrichtung dem Anprall der Regengüsse besonders ausgesetzt, so kommt es dazu, daß dort zuletzt ein sandiger Boden entsteht, der wegen der beständigen Abschwemmung der Feinerde fast gar keine verwitterten Bestandteile feiner Art mehr besitzt.[2]) Auch M. Bräuhäuser weist auf ähnliche Erscheinungen hin.[3]) E. Wollnys Bemühungen, auch hier Versuchsmaterial zu schaffen, sind im Angesicht der heute feststehenden Anforderungen an die Exaktheit der Ergebnisse wohl dringend der Erneuerung und Erweiterung bedürftig. Fehlt für sie doch fast durchgehends die Ausführung in mehrfachen, gleichgerichteten Einzelversuchen. Immerhin sind sie in Ermangelung anderen Materials auch heute noch wertvoll und erläutern[4]) besonders die sehr stark hemmende Wirkung, die ein Bestand der geneigten Bodenfläche, z. B. mit Gras, auf diese Abschlämmung ausübt. Während auf dem Quadratmeter bewachsenen Bodens die Abschlämmung bei mäßiger Neigung in einem halben Jahr[5]) sich höchstens auf etwa 100 g feines Material belief und selbst noch bei einer Neigung von 30° nur wenig höher war, betrug sie bei nacktem Boden:

Für den Quadratmeter	bei einer Neigung von			und einer Regenhöhe
	10°	20°	30°	von
	g	g	g	mm
1. April bis 1. Oktober 1882	1021	1727	2932	605
1. April bis 1. Oktober 1883	834	1368	3104	622

Freilich war der von E. Wollny untersuchte Boden vor Beginn seiner Feststellungen gelockert worden[6]) und als humoser Kalksand nicht mit jedem anderen Boden zu vergleichen. Doch werden die erhaltenen Werte — darauf weisen auch andere Zahlen E. Wollnys hin[7]) — immerhin eine gewisse, allgemeine Bedeutung beanspruchen dürfen. Ähnlich warnt E. Ebermayer[8]) und nach ihm E. Ramann[9]) davor, an steilen Hängen die

---

[1]) Schon C. Sprengel wies auf deren Bedeutung in dieser Hinsicht hin; vgl. a. a. O. 419.

[2]) J. Hazard, a. a. O. 833.

[3]) M. Bräuhäuser, Erl. Geol. Spezialkarte Württembg., Bl. Friedrichshafen-Oberteuringen **179/174**, 107 (1915). R. Lang, Zentralbl. Mineral. (1914), 645.

[4]) E. Wollny, Forsch. Geb. Agrikulturphysik **18**, 195 (1895).

[5]) April bis Oktober. — [6]) Aber nur einmal, vor dem 1. April 1882.

[7]) E. Wollny, a. a. O. 195.

[8]) E. Ebermayer, Lehre der Waldstreu (Berlin 1876) 175.

[9]) E. Ramann, Waldstreu (Berlin 1890) 101, 103.

Waldstreu zu nutzen, da sie ein wesentliches Hilfsmittel sei, das Wegschwemmen feinster Bodenteile in die Tiefe zu hindern.

Daß auch hier wie beim Durchschlämmen von Bodenkolloiden in den Untergrund die Behandlung des Ackers mit Kalk, wie überhaupt jede, auf die Zusammenballung der Bodenkolloide hinwirkende Erscheinung, u. a. Frost, ebenso wie Schutz gegen die Regenwirkung durch Blätter, stark hemmend wirken wird, liegt nahe. Gleichfalls ist klar, daß Überschwemmungen die schädlichen Wirkungen, deren oben gedacht wurde, weitgehend erhöhen können, ebenso, wenn auch schwächer, die Schneeschmelze.[1]) Der bodenlockernde Einfluß des Frostes kann auch ebenso die Abschwemmung fördern, wie sein zusammenballender Einfluß auf die Bodenkolloide ihr entgegenwirkt.

d) Quellen der Bodenkolloide.

Eine gegebenenfalls nicht ganz unwichtige Wirkung der Niederschläge auf die Bodenkolloide ist noch in der Quellung derselben zu erblicken.

Daß Kolloide quellen, zeigt uns das Verhalten von Leim, Stärke, Holz und eine Unzahl anderer Erscheinungen des täglichen Lebens, und von dem Ton wie dem Humus ist das gleiche wohl jedem Landwirt bekannt, übrigens auch schon oben besprochen.[2]) Daß auch äußerst feine Sande, die sich ja auch sonst eng an die eigentlichen Bodenkolloide anschließen, in gewissem Grade bei Befeuchtung Erscheinungen aufweisen werden, die dem Quellen verwandt sind, ist nicht nur wahrscheinlich, sondern direkt aus Angaben von M. Whitney, E. Wollny und W. Spring zu folgern, deren bereits gedacht wurde.[3])

Da bekanntlich das Quellen durch die Wirkungen begünstigt wird, welche die Ausflockung hemmen und hindern, so dürfen wir, wofür leider experimentelle Beweise für den Wald- und Ackerboden noch fehlen,[4]) wohl annehmen, daß die Kolloide unserer Böden stärker in Regenwasser, überhaupt in elektrolytfreien Wässern quellen müssen, als in solchen,

[1]) Vgl. auch E. Wollny, Saat u. Pflege landwirtsch. Kulturpflanzen (1885) 704.

[2]) 61/62, auch 146 und 170.

[3]) M. Whitney, Amer. Journ. Agricult. Science **7**, 85 (1893). E. Wollny Forsch. Geb. Agrikulturphysik **20**, 26 (1897/98), Theoretische Angaben über die Größe des Quellens von Sandschichten bei W. Spring, Bull. Soc. Belg. Géol. **17**, Mémoires 21 (1903).

[4]) E. Wollny hat nur mit Kaolin Versuche ausgeführt, die noch dazu wichtige Angaben vermissen lassen. Die obige Auffassung bestätigen sie aber durchaus. Vgl. Forsch. Geb. Agrikulturphysik **20**, 31 (1897/98).

die Salze zumal mehrwertiger Metalle enthalten. So ist im Anschluß hieran wohl der Schluß erlaubt, daß die oberen Bodenschichten, aus denen die Kalksalze am leichtesten ausgewaschen werden können, stärker quellen werden, als die etwas tieferen, wenn sonst die Bedingungen in gleicher Weise für den Eintritt der Erscheinung günstig sind, — ein Umstand, der für die Pflanzenschädigung durch Quellung des Bodens vielleicht zu beachten ist.[1]) Weiter müssen wir ebenso annehmen, daß Auftreten alkalischer Reaktion im Boden[2]) die Quellung fördert. Abgesehen von den soeben gestreiften theoretischen Gründen liegen auch Untersuchungen R. Benzians[3]) vor, nach denen künstlich hergestellter kieselsaurer Kalk, also ein den mineralischen Bodenkolloiden immerhin nicht ganz fern stehender Stoff, in Wasser, noch stärker aber in Alkalien quillt. Ähnliche Beobachtungen finden sich bei G. Wiegner[4]) und R. Gans.[5]) Schon H. Einhof,[6]) nach ihm aber A. F. Wiegmann[7]) beobachteten ferner lebhaftes Quellen von Torf in Alkalilösungen, ebenso H. Fuchs.[8]) Auch Angaben von R. Loughridge über das Verhalten von Boden gegen Alkalisalze wären hier zu erwähnen.[9]) Da aber später die Wirkungen der Salze auf die Bodenkolloide ohnehin im Zusammenhang dargestellt werden, mag hier dieser Hinweis genügen. Theoretisch ist weiter anzunehmen, daß ein mäßiges Sinken der Temperatur — aber nicht unter den Gefrierpunkt — die Quellung fördert.[10]) — Vielleicht hängt hiermit auch die Erfahrung zusammen, daß Dränausflüsse am Tage bei gleichen Verhältnissen stärker laufen sollen, als in der Nacht.[11]) — So muß demnach im Winter oft niedere Tem-

[1]) Vgl. das bereits Seite 169/70 Gesagte und die Anmerkungen dort.

[2]) Über die Ursachen einer solchen vgl. auch Seite 170.

[3]) R. Benzian, Chem.-Ztg. **29** Nr. 54, 737 (1905).

[4]) G. Wiegner, Journ. Landw. **60**, 201 (1912).

[5]) Vgl. unten a. a O.

[6]) H. Einhof, Hermbstädts Arch. Agrikulturchem. **1**, Heft 2; ebenso Gehlens Journ. Chem. **3**, 402 (1804).

[7]) A. F. Wiegmann, Entstehung, Bildung und Wesen des Torfs (1837) 46.

[8]) H. Fuchs, Inauguraldissertation (Rostock 1904) 67.

[9]) R. Loughridge, California Stat. Rep. (1893/94) 70.

[10]) Vgl. H. Quincke, Arch. ges. Physiol. **3**, 332 (1870); W. Nernst, Theoret. Chemie, 5. Aufl. (1907) 419; P. Rohland, Koll.-Zeitschr. **1**, 78 (1906); P. Ehrenberg, Mitteil. landw. Inst. Univ. Breslau **4**, 463 (1908).

[11]) Vgl. dazu auch F. H. King, U. S. Departm. Agric. Weather Bur. **5** (1892); nach Forsch. Geb. Agrikulturphys. **18**, 85/86 (1895). Die obige Erklärung würde mir wenigstens — neben dem Einfluß der zunehmenden inneren Reibung und Oberflächenspannung (oben 17) des Wassers beim Sinken der Wärme — einleuchtender erscheinen, als die vielleicht auch nicht auszuschließende Wirkung einer Temperaturerniedrigung auf im Boden vorhandene Luftblasen, die nun infolge ihrer Ver-

peratur, Auswaschung der Kalksalze aus den oberen Bodenschichten, unter Umständen auch alkalische Reaktion sich vereinen,[1]) um die Quellung des Erdbodens zu vermehren, bis dann eintretender Frost die Ausdehnung noch weitaus erhöht und die Pflanzenschädigung auf ihren Höhepunkt bringt, die wegen Zerreißens von Wurzeln u. dgl. schon vorher durch das Quellen allein ziemlich bedeutend geworden sein kann. E. W. Hilgard gibt z. B. für strenge amerikanische Tonböden an, daß ihre Oberfläche in der trockenen Jahreszeit mehrere Zoll[2]) tiefer liegt als in der feuchten.[3]) Man sieht hieraus, daß die Fähigkeit der Bodenkolloide zu quellen gelegentlich auch nach anderen Richtungen hin Bedeutung gewinnen kann als nur nach der zumeist allein beachteten, der Beeinflussung der kapillaren Leitung des Wassers im Boden durch die Quellung der Kolloide zumal im Ton,[4]) doch auch im Humus.[5]) Es tritt hierdurch unter Umständen eine wesentliche Verzögerung des Wasserdurchtritts, ja sogar, praktisch genommen, wenigstens für Versuche, vielleicht nicht ganz so für große Flächen, eine Verstopfung des Bodens für das Wasser ein,[6]) die nicht ohne Bedeutung ist. Wesentlich ist dabei aber natürlich der Umstand, ob der Boden sich vor der Befeuchtung in dichter Lagerung befand. Es sei hier auf die über die Quellung des Tons bereits gemachten Angaben verwiesen.[7]) Auch in diesem Fall der Wirkungen der Quellung von Erdboden spielt der hemmende Einfluß zumal des etwa natürlich vorhandenen oder hinzugefügten, leichter löslichen Kalks unter Umständen eine große Rolle.[8])

Die heute für jeden Landwirt geläufige Tatsache, daß zur richtigen

---

kleinerung das Wasser im Boden festhalten würden — siehe E. Ramanns Bodenkunde, 3. Aufl. (Berlin 1911) 348/349. Es dürfte dabei auch nicht recht einzusehen sein, weshalb bei Verkleinerung im Boden vorhandener Luftblasen, nicht Wasser bzw. Luft von oben nachgeliefert werden sollte. Daß dagegen der Luftdruck und seine Schwankungen starken Einfluß in der erwähnten Richtung ausüben, scheint Tatsache zu sein. Vgl. J. Kopecký Intern. Mittlg. Bodenk. **4**, 176 (1914), und viel früher schon E. S. Goff, Report Horticult. New York Agric. Exp. Stat. Geneva, N. Y. 1887.

[1]) E. Wollny, Forsch. Geb. Agrikulturphysik **20**, 1 u. f. (1897/98).

[2]) „inches" zu je 2,5 cm etwa.

[3]) E. W. Hilgard, Soils (1906) 114. Gegenteilige Ansicht bei von Klenze, Landw. Jahrb. **6**, 129 (1877).

[4]) Z. B. G. Appelt, Pflanze u. Boden (Breslau 1889) 56.

[5]) E. Wollny, Zersetzung d. organ. Stoffe (Heidelberg 1897) 249.

[6]) R. Sachsse und A. Becker, Landw. Versuchsstat. **43**, 19 (1894). Vgl. aber dazu W. Spring, Ann. Soc. Géol. Belg., **29**, Mémoires 44 (1901/02).

[7]) Vgl. oben Seite 146 u. f.

[8]) R. Sachsse und A. Becker, a. a. O. 19 u. 20.

Kultur des Hochmoors häufige Anwendung schwerer Walzen gehört,[1]) ist wohl, abgesehen natürlich von der hier besonders starken Wirkung des Frostes, auch wesentlich darauf zurückzuführen, daß durch die Quellung infolge von Niederschlägen der Hochmoorboden in seiner Oberkrume sehr leicht sich hebt,[2]) ohne nachher beim Austrocknen wieder von selbst den erforderlichen Anschluß an die tieferen Bodenschichten gewinnen[3]) und so die kapillare Wasserförderung aus der Tiefe sicherstellen zu können.[4]) Bei der Frostwirkung kommt zu der hier besonders starken Ausdehnung des Bodens außer der Verminderung der wasserhaltenden Kraft[5]) noch die starke Verminderung der Schrumpfungsfähigkeit des Moors durch Gefrieren hinzu.[6]) Daß aber nicht allein der Frost die Hebung des Moores bedingt, sondern daß hierfür auch die Quellung nach jedem ausgiebigen Regen eine gewisse Rolle spielt, geht daraus hervor, daß nicht nur im Frühjahr, sondern eigentlich stets, wenn es irgend angängig, die schwere Walze auf dem Hochmoor in Tätigkeit tritt.[7]) Übrigens hat schon C. Sprengel auf diese Wirkung des Quellens bei Moorböden hingewiesen.[8]) Wie weitgehend die hierbei auftretenden Erscheinungen unter Umständen sein können, lehren Mitteilungen darüber, daß unvollkommen entwässerte Torfmoore, welche auf hochgelegenen Stellen lagerten, nach heftigen Regengüssen so weit aufquollen, daß sie über das tiefer gelegene Gelände übertraten. Man hat geradezu von Mooreruptionen gesprochen.[9])

Solche nur durch Quellung von Torf hervorgebrachten Erscheinungen können uns nicht überraschen, wenn wir bedenken, daß E. Wollny für natürlichen Torf aus dem Donaumoos bei Anfeuchtung der trockenen

[1]) Vgl. z. B. M. Fleischer, Ch. A. Voglers Grundlehr. Kulturtechnik **1** (1), 148 (Berlin 1909); B. Tacke, Besiedl. Ödland Schleswig-Holstein, Sonderdruck.

[2]) Worauf schon G. Schübler deutlich hinweist, Grunds. d. Agrikulturchemie **2**, 80 (1830).

[3]) W. Schumacher, Physik in Anwend Agrikultur Pflanzenphys. **1**, 497 (Berlin 1864).

[4]) Es kommt natürlich bei der Hebung durch Quellen wie durch Frost nicht nur die vertikale Ausdehnung, sondern auch das Ausbiegen und Aufwölben durch horizontale Ausdehnung in Frage; dies ist sehr zu beachten. Vgl. auch folgende Seite.

[5]) M. Fleischer, Landw. Jahrbüch. **20**, 784 (1891).

[6]) M. Fleischer, Torfstreu, Herstell. u. Verwend. (Bremen 1890).

[7]) Nach W. Krahmer, Festschr. Vereins Förd. Moorkultur (1908), haben sich auch auf Niederungsmoorwiesen die schweren Walzen bewährt.

[8]) C. Sprengel, Bodenkunde (1837) 219—220.

[9]) Vgl. F. Senft, Humus-, Marsch-, Torf- u. Limonitbild. (1862) 101/2; E. J. Russell u. H. Brehm, Boden u. Pflanze, 90, Anm. 2 (Dresden 1914).

Masse eine Volumvermehrung von 46—84% eintreten sah. Je tieferen Schichten der Torf entnommen war, um so stärker war die Quellung.[1]) Für Lehm ermittelte er bei einigermaßen dichter Lagerung 22%, für Kaolin[2]) 36½%[3]) Volumvermehrung. Bezüglich des Torfs dürfte noch zu bedenken sein, daß durch das dem Versuch vorhergehende völlige Austrocknen die Quellungsfähigkeit wahrscheinlich schon merklich abgenommen hatte. — Auch nach E. W. Hilgard schwillt trockener Humus beim Benetzen deutlich auf.[4])

Daß solche bedeutsamen Folgen der Quellung des Bodens und seiner Kolloide nicht nur auf die Moore beschränkt sein dürften, lehrt bereits das Ergebnis des E. Wollnyschen Versuches für Lehm, abgesehen von meinen früheren Darlegungen über die Quellung des Tons überhaupt. Die beim Quellen entwickelten Kräfte können sehr beträchtliche sein.[5]) Wird doch vom Quelldruck des Holzes in Steinbrüchen seit alters Gebrauch gemacht! Auch der Umstand, daß es nahezu unmöglich ist, z. B. gequollenem Torf durch Auspressen sein Wasser weitgehend zu entziehen[6],) weswegen man ein kolloidchemisches Verfahren, die Elektrosmose, zur Abscheidung der Humusstoffe des Torfbreies herangezogen hat,[7]) ist zu erwähnen. Daß quellender Ton endlich mäßig dicke Spiegelglasplatten zu brechen vermag, ergaben Versuche von W. R. Williams.[8]) Freilich verfügen wir für unsere schweren deutschen Böden nicht über erhebliches Beobachtungsmaterial in dieser Richtung, vielleicht weniger, weil solches nicht zu sammeln wäre, als weil die Beobachtung noch nicht genügend auf diese Zusammenhänge gelenkt worden ist. Aus anderen Ländern aber werden diesbezügliche Mitteilungen gemacht. So könnte man vielleicht bei einer von J. D. Kobus angegebenen Kulturart von Zuckerrohr auf äußerst schwerem javanischen Tonboden wenigstens neben anderen Zwecken an Beseitigung schädlicher Einflüsse infolge des Quellens des Bodens denken;[9]) zweifellose Angaben bringt aber E. W. Hilgard. Auch er erwähnt ein Quellen des Bodens bis annähernd um 30%, wenn strenger, eisenschüssiger Ton

---

[1]) E. Wollny, Zersetz. organ. Stoffe (Heidelberg 1897) 237.

[2]) R. Sachsse und A. Becker beobachteten bei Kaolin, der in Glasröhren gefüllt war, durch das Quellen ein Platzen derselben, Landw. Versuchsstat. **43**, 18 (1894).

[3]) Vgl. E. Wollny, Forsch. Geb. Agrikulturphysik **20**, 30 (1897/98).

[4]) E. W. Hilgard, Soils (Neuyork 1906) 124.

[5]) F. Haberlandt, Fühlings landw. Ztg. **26**, 482 (1877).

[6]) Rühlmann, Journ. Landw. **6**, 88 (1858).

[7]) H. Winter, Koll.-Zeitschr. **1**, 150 (1906).

[8]) W. R. Williams, Forsch. Geb. Agrikulturphysik **18**, 268 (1905).

[9]) A. Mitscherlich, Bodenkunde (Berlin 1905) 333.

in Frage kam.[1]) Dann kommt er auf die eigenartige Erscheinung der „hog-wallows"-Böden[2]) im Südwesten der Vereinigten Staaten von Nordamerika zu sprechen, die ihre besondere Bodengestaltung dem Quellen der Bodenoberfläche verdanken. „Die Benetzung der mit Spalten durchsetzten, ausgetrockneten Tonböden bedingt manchmal sehr sonderbare Erscheinungen. Die Wirkung der ersten, leichten Regen ist gewöhnlich eine Krümelung der Ecken und Kanten der Spalten in der Nähe der Oberfläche, und das so gelockerte Material fällt in die Tiefe der Risse hinunter. Jeder folgende Regenschauer, nach dem dann wieder die Sonne scheint, wiederholt dies, so daß die Spalten mehr oder weniger mit Oberflächenboden gefüllt werden. Wenn dann in der Folge die stärkeren und mehr anhaltenden Regen das Land völlig durchfeuchten, so bringen sie die zusammengeschwundenen Bodenmassen zur Ausdehnung nach den Spalten zu, die sich aber nicht schließen können, weil sie sich ja mit Boden gefüllt hatten. Das Ergebnis ist, daß die zwischen den ausgefüllten Spalten liegenden Bodenteile gezwungen werden, sich emporzuwölben, manchmal sechs und mehr Zoll,[3]) und so eine sehr unebene, buckelige Oberfläche entstehen lassen. Diese ist demnach stets das Zeichen eines ausnehmend strengen, schwer zu bearbeitenden Bodens."[4]) Zu dem starken Quellungsvermögen solcher Böden paßt denn auch ein Gehalt von etwa 83% an Teilchen unterhalb 0,016 mm Durchmesser.[5])

Maßgebend für ein merkbares Quellen des Bodens ist natürlich dessen

---

[1]) E. W. Hilgard, Soils (Neuyork 1906) 209.

[2]) „Hog-wallows", eigentlich „Schweinetummelplatz", von der sehr unebenen, buckeligen, mit lauter Aufwölbungen besetzten Bodenoberfläche. Ähnliche Ansichten wollte E. v. Cholnoky über Vorkommnisse im Tundragebiet äußern, nur daß hier der Frost das maßgebende Mittel der Bodenveränderung sein sollte. Vgl. Intern. Mittlg. Bodenk. **4**, 62 (1914).

[3]) „Inches", also etwa 15 cm und mehr.

[4]) E. W. Hilgard, Soils (Neuyork 1906) 114. Auch F. J. Alway und C. E. Vail, Journ. Ind. Engineer Chem. **1**, 74 (1909). Solche Böden sind aber als äußerst ertragsfähig und reich in den Vereinigten Staaten Nordamerikas, Kanada und in Indien auf dem Deckan bekannt; hier heißen sie „Regur", doch sind unter dieser Bezeichnung wohl auch vielfach andere als schwere Böden verstanden, nämlich Schwarzerden, die aber auch starke Spaltenbildung zeigen; vgl. F. Freiherr von Richthofen, Führer f. Forschungsreis. (Berlin 1886) 484; derselbe, China **2**, 765 (1882); E. W. Hilgard, Soils (Neuyork 1906) 115; J. W. Leather, Comp. Indian Soils, Agr. Ledger (1898); J. A. Voelcker, Report Indian Agric. (1892); H. H. Mann, Report Ind. Tea-Association (1901). P. Kossowitsch, Schwarzerde (Berlin 1912) 137, versteht unter „Regur" auch tonige, fette, klebrige, schwarz gefärbte Böden, die in trockenen Zeiten starke Rissebildung zeigen.

[5]) E. W. Hilgard, a. a. O. 115.

Lagerung. Nur bei enger Lagerung, wie sie sich im Freien nur im Lauf der Zeit für den dann als „gewachsen" bezeichneten Boden ergibt und beim Versuch wohl durch Einschlämmen, kaum aber durch auch festestes Einstampfen einigermaßen zu erreichen ist,[1]) wird sich die Summe der Quellungserscheinungen einer gegebenen Erdmenge durch Veränderung der Lage der Oberfläche beobachten lassen. Wäre dies nicht ohnehin ganz einleuchtend, so könnten auch noch Versuche E. Wollnys hierfür angeführt werden.[2]) Da weiter vollständig ausgetrockneter Boden das Quellen am deutlichsten zeigen wird und endlich auch ein Pflanzenbestand geeignet ist, die Erscheinungen des Quellens für den Beobachter zu verdecken, so mag es sich erklären, daß in unserem Vaterlande bislang Beobachtungsmaterial aus der Praxis kaum vorliegt, mir jedenfalls mit einer Ausnahme[3]) nicht zu Händen kam. Läßt man doch gerade schwere und schwerste Böden nicht gern völlig austrocknen oder in Einzelkornstruktur übergehen. Am ehesten könnte man vielleicht noch von Marschländereien hierher gehörige Feststellungen erwarten.

Eine hier noch zu erwähnende, freilich auch nicht genügend geklärte Einzelheit ist das Vergilben von Getreidefeldern auf Moorboden nach Regen, auf das H. Süchting hinwies. Er nimmt an, daß es sich um Behinderung der Luftzufuhr infolge Aufquellens oberflächlicher Bodenschichten handelt.[4])

e) Zuführung von Bodenkolloiden.

Als letzter Punkt des vorliegenden Abschnitts sei die Zuführung von Bodenkolloiden zum Acker- oder Waldboden behandelt, soweit die Niederschläge dazu Veranlassung geben.

Zunächst mag hier auf die Neubildung aus der mineralischen Substanz des Bodens selbst hingewiesen sein. Sie wird ja durch die Verwitterung bedingt, und wenn auch noch viele andere Umstände dabei mitwirken, so wird doch für den nicht besonders bearbeiteten Boden der Einfluß von Niederschlägen und Tauwetter in dieser Richtung ein recht bedeutender sein. Freilich, welchen Umfang die Neubildung von Kolloiden überhaupt oder hier besonders von mineralischen Kolloiden — feine Aufschwemmungen bildende Bodenteilchen immer eingerechnet — annimmt, ist noch völlig unerforscht. Wir haben eben dem Boden eine ganze Unzahl von mehr oder weniger wichtigen Fragen überhaupt noch gar

---

[1]) Vgl. M. Berkmann, Intern. Mittlg. Bodenk. **3**, 4 (1913).
[2]) E. Wollny, Forsch. Geb. Agrikulturphysik **20**, 28 (1897/98).
[3]) H. Schalk, Forstwiss. Zentralbl. **28**, 570 (1906).
[4]) H. Süchting, Fühlings landw. Ztg. **61**, 481 (1912).

nicht vorgelegt, geschweige denn, daß sie beantwortet und die Rätsel gelöst wären. Nur die Tatsache, daß trotz der unzweifelhaft ständig an der Verarmung der oberen Bodenschichten arbeitenden Niederschläge die Bodenkolloide doch nur in besonderen Ausnahmefällen schnell und weitgehend fortgewaschen werden, liegt uns hier vor. Wir müssen aus ihr schließen, daß neben den mannigfaltigen Einflüssen, welche die Fortwaschung der feinsten Teilchen aus den oberen Bodenschichten hemmen, wohl auch die Neubildung derselben einen wesentlichen Einfluß dahin äußert, daß die Kolloide in der oberen Bodenkrume zumeist nicht zu stark abnehmen.

Die bisher ausgeführten Versuche über die Zersetzung von Gesteinen sind kaum für solche Fragen heranzuziehen, weil für den Landwirt die Frage der Zersetzung von Erdboden und der Neubildung von Kolloiden aus ihm wichtiger sein dürfte als die Verwitterung von Gesteinsbrocken. Immerhin sei hier auf die Mitteilung von F. Sestini hingewiesen, daß sich unter dem Einflusse der Wurzeln, des Wassers, der Bodenlebewelt usw. aus feinerde- und tonfreiem Granit für das Kilogramm 18—47 g Feinerde bildete, die auch Ton enthielt.[1]) E. Haselhoffs ähnliche, aber umfangreichere Arbeiten[2]) sind für mich hier leider nicht verwendbar, da eine Feststellung der etwa gebildeten, abschlämmbaren Bestandteile unterblieb, und nur für die Menge der unter ½ mm Durchmesser aufweisenden Bodenteilchen, der sog. Feinerde, und außerdem gröbere Körnchengruppen stattfand. Daß bezüglich der Bildung feinster Bodenteilchen zwischen unserem Klima und dem der Tropen Unterschiede zu bestehen scheinen, die allerdings auch zum Teil von der Art des in Frage kommenden Materials abhängen dürften, beweisen Angaben E. C. J. Mohrs.[3])

Eine weitere Zuführung von Kolloiden findet für den nicht irgendwie besonders behandelten Boden auch durch gelegentliche Überschwemmungen statt.

Es bedarf nur eines Hinweises auf den berühmten Nilschlamm,[4]) um jeden Landwirt auf die nicht geringe Bedeutung solcher Zufuhr feinster Stoffe hinzuweisen. An die Verwendung des Schlammes von Berg-

[1]) F. Sestini, Landw. Versuchsstat. **54**, 147 (1900).

[2]) E. Haselhoff, Landw. Versuchsstat. **70**, 53 (1909).

[3]) E. C. J. Mohr, Bull. départ. agricult. Indes Néerland. Géolog. agron. VIII (1910).

[4]) Ältere Analysen desselben, abgesehen von den hier noch weiter gemachten Angaben, bei A. Stöckhardt, Chem. Ackersmann (1860) 84. H. Pellet und R. Roche, Chem. Centr. **78** (4), 1650 (1907).

bächen zur Verbesserung des Bodens könnte gleichfalls erinnert werden.[1]) Auch die Tatsache, daß noch heute an den Unterläufen der deutschen Ströme die üppigen Weiden und Wiesen oft ohne jede Düngung hohe Erträge bringen, die sie der Überlagerung mit Schlamm während des Hochwassers danken, ist bekannt genug.[2]) So steht die Güte des Weserschlamms dem Meeresschlick[3]) aus dem Dollart in keiner Weise nach.[4]) Daß es sich bei diesen Flußschlammablagerungen[5]) wesentlich um Kolloide handelt, erhellt schon aus der Tatsache, daß sie vom Wasser von weither getragen werden konnten. Näher zeigen dies noch Untersuchungen, die z. B. A. Müntz über die düngenden Eigenschaften des Nilwassers anstellte. Der Schlamm bildet nach diesem Forscher eine hauptsächlich Hydrate von Aluminium-, Eisen- und Kalksilikaten darstellende, mit kohlensaurem Kalk und organischen Stoffen durchmischte tonige Masse.[6]) 55% davon sind als Ton zu bezeichnen, und wenn dieser nicht durch den Kalk koaguliert und in seiner Beschaffenheit günstig beeinflußt würde, so könnte vielleicht von einer Kultivierung des daraus entstehenden Bodens nicht die Rede sein.[7]) Wir sehen hiernach, wie wesentlich die Kolloideigenschaften des Schlammes hervortreten, auf die übrigens A. Müntz noch ausdrücklich mit den Worten hinweist, daß der Schlamm auch der sehr großen Feinheit seiner Teilchen die guten Wirkungen verdanke. Damit hängt der Umstand eng zusammen, daß der Flußschlamm natürlich an eigentlich wasserlöslichen Pflanzennährstoffen meist

---

[1]) Nach Mitteilungen über Meliorationen in Graubünden und im Rhätikon; vgl. W. Schumacher, Physik in Anwend. Agrikultur Pflanzenphysiol. **1**, 505 (Berlin 1864). Weiter S. V. Simon, Tropenpflanzer **16**, Nr. 9—12, 46, Sonderdruck (1912).

[2]) In früheren Zeiten, als der Mangel an Düngemitteln noch manche arbeitsreiche Verfahren anzuwenden zwang, war in England eine besondere Art der Grundverbesserung (Melioration), „Warping" genannt, auf Schlammzufuhr mit dem Wasser in der Nähe der Flußmündungen gegründet. Vgl. u. a. W. Schumacher, Physik in Anwend. Agrikultur Pflanzenphysiol. **1**, 335 (Berlin 1864). C. F. Juritz, Study Agric. Soils Cape Colon. 202 (Pretoria 1910).

[3]) Seeschlick unterscheidet sich aber vom Flußschlamm durch seine physikalische Beschaffenheit; E. Ramann, Fortschr. Gesamtgeb. Agrikulturchemie **19** (39), 55 (1896).

[4]) A. Salfeld, Allgem. Hopfenzeitg. **18**, 248 (1878).

[5]) Über die man auch noch z. B. F. Freiherr von Richthofen, China **1**, 57 (1877), vergleichen möge, der eigens darauf hinweist, daß der Sand sich wesentlich im Flußbett, die Tonteile aber bei Überschwemmung auf Äckern und Wiesen ablagern.

[6]) Vgl. ähnliche Zahlen über das Wasser des Yangtse von K. Keilhack, Zeitschr. deutsch. Geol. Gesellsch., Monatsber. **66**, 327 (1914). Der Fluß soll jährlich 530 Millionen Tonnen Schlamm in das Gelbe Meer führen.

[7]) A. Müntz, Compt. rend. **108**, 522 (1889).

nur äußerst geringe Mengen enthält, wie ja schon seiner Entstehung nach mit Sicherheit erwartet werden muß.[1]) Auch ein Hinweis W. Knops, der bei erheblichem Glühverlust nur sehr wenig wirklichen Humus fand, deutet auf dem Ton ähnliche kolloide Beschaffenheit,[2]) ebenso die Feststellung[3]) eines reichlichen Gehalts an in verdünnter Säure löslicher Kieselsäure.

Freilich ist nicht aller Flußschlamm und noch viel weniger alle vom Wasser mitgeführte Stoffmasse nun ohne weiteres als Kolloid zu bezeichnen. Ganz besonders im Oberlauf der Flüsse herrscht, wie allgemein bekannt, Kies und Sand vor, und wenn wir hören, daß die Ill jährlich 13½ Millionen Doppelzentner (?) feste Stoffe mit sich fortführt,[4]) so denken wir natürlich nur zum sehr geringen Teil an Kolloide.[5]) Auch aus anderen Angaben über die günstige Wirkung[6]) des Flußschlammes ergibt sich, daß vielfach je nach der Jahreszeit bzw. je nach der mit ihr zusammenhängenden Stärke der Niederschläge der von den Flüssen mitgeführte Schlamm bald mehr, bald weniger landwirtschaftlich wertvoll ist.[7]) Es liegt dies ja nahe, da bei starker Strömung häufig Sand abgelagert werden wird, wo bei ruhigem Laufe des Wassers sich wertvoller Schlamm niederschlagen würde.[8]) Daß auch der Kalkgehalt bzw. ähnlicher Elektrolytgehalt des Wassers für die Fähigkeit des Flußwassers, wertvolle, fein zerteilte Stoffe mitzuführen, eine erhebliche Bedeutung besitzt, erhellt aus den Beziehungen zwischen kolloiden Lösungen und Aufschwemmungen einerseits und den Elektrolyten andrerseits. Kalkhaltige Wässer

---

[1]) Vgl. Th. Siegert, Landw. Versuchsstat. **2**, 99 (1860).

[2]) W. Knop, Landw. Versuchsstat. **17**, 65 (1874).

[3]) W. Wicke, Journ. Landw. **12**, 157 (1864). Ähnlich auch H. von Post, Kong. Vetensk. akad. Handling Nyd. F. **4** (1861/62) nach E. Ramann, Landw. Jahrb. **17**, 408 (1888).

[4]) F. W. Eugling, Jahresber. landw.-chem. Versuchsstat. Vorarlberg zu Tisis (1881), nach Zentralbl. f. Agrikulturchem. **14**, 419 (1885). Die Var in Frankreich soll nach Magnon sogar im Jahr 18 Millionen Tonnen fortführen (??). A. Schleh, Inauguraldissertation (Leipzig 1873) 64.

[5]) E. Risler, Journ. agric. Suisse rom. (1875), gibt derartige Angaben über den Schlammabsatz der verschiedenen Nebenflüsse der Rhone. Vgl. weiter auch S. V. Simon, Tropenpflanzer **16**, 53 Nr. 9—12, Sonderdruck (1912).

[6]) Derselbe wird bzw. wurde am Rhein, in Hannover wie in Tirol zur Düngung herangezogen; vgl. E. Schulze, Ber. Versuchsstat. Darmstadt (1874) 63; Weinlaube **8**, 241 (1876). Besonderheiten bei L. Dieulafait, Compt. rend. **98**, 1007 (1884).

[7]) I. W. Leather, Agr. Ledger (1897), nach Jahresber. Fortschr. d. Agrikulturchemie **20**, 54 (1897); R. Onor, Chem. Centr. **74** (1), 1272 (1903).

[8]) Vgl. auch bezüglich der Wirkung der Schnelligkeit usw. des Wassers auf den Gehalt des Schlammes an feinsten Teilen Th. Siegert, Landw. Versuchsstat. **2**, 99 (1860).

werden daher ihre schwebenden Schlammteilchen schnell durch Ausflockung derselben absetzen.[1]) Ähnliches ist auch besonders bei den aus großen Waldgebieten herkommenden Flüssen tropischer Gegenden beobachtet worden. Kalkarmes bzw. kalkfreies Wasser verursacht hier eine weitgehende Lösung von Humussubstanzen, welche die Bildung der sog. „schwarzen" Flüsse bedingt und eine außerordentlich starke Fortführung von Humusstoffen veranlaßt,[2]) die sich in dem sonst klaren Wasser in kolloid gelöster Form befinden.[3]) Solche schwarzen Gewässer kommen aber in unserer Heimat ebenfalls häufig vor, wo Kalk oder andere Stoffe nicht die Ausfällung der Humusstoffe übernehmen können,[4]) und jeder Besucher des Harzes und anderer unserer Mittelgebirge kann solche Beobachtungen machen, abgesehen davon, daß zahlreiche Namen wie „Schwarzwasser", „Schwarzach" und ähnliche darauf hinweisen. Daß auch solche Wässer, die also dem Boden wesentlich Torf- bzw. Humuskolloide zuführen würden, einen Einfluß auf ihn ausüben, wird durch Angaben G. Kliens bestätigt. Es handelte sich hier um eine Schädigung.[5]) Auch können unter Umständen durch das elektrolytarme Moorwasser größere Mengen feinsten Sandes mitgeführt werden.[6])

Diese Fragen leiten uns zu einer Erwähnung der schädlichen Einwirkung über, welche mineralische Kolloide, also besonders Tonschlamm im Wasser bei Überschwemmungen ausüben, wenn es zu einer Überziehung lebender Pflanzen mit feinen Tonschichten kommt und so deren Atmung wie Assimilation gehemmt wird.[7]) Auch ist bekannt, daß derart mit feinen Schlammüberzügen bedecktes Gras beziehungsweise Heu als schädlich für die Tiere gilt. Bei stärkerem Schlamm- und Sandabsatz werden dann die Pflanzen mehr oder weniger unter den Erdmengen vergraben.[8])

[1]) Gletscherwässer bringen zwar in dem vom Eise zermahlenen Material äußerst viel sehr feine Teilchen mit. Da aber hier wohl nur mechanische, gar nicht chemische Einflüsse sich zu betätigen Gelegenheit hatten — wegen der niederen Temperatur —, so ist doch nur wenig kolloider Ton darin vorhanden, wenn auch die fein zerteilten Mineralien sich schon in mancher Beziehung als Kolloide betätigen dürften. Vgl. dazu auch E. W. Hilgard, Soils (Neuyork 1906) 4.

[2]) J. Reindl, Schwarze Flüsse Südamerikas, Dissertation (Bern 1908).

[3]) A. Müntz und V. Marcano, Compt. rend. **107**, 908 (1888).

[4]) Vgl. dazu auch W. N. Hartley, Chem.-Ztg. **7**, 750 (1883).

[5]) G. Klien, Königsb. land- u. forstw. Ztg. **15**, 175 (1879).

[6]) W. Henneberg, Journ. Landw. **5**, 190 (1857). Es handelt sich wohl um eine „Schutzwirkung" der Humusstoffe auf den Sand.

[7]) Vgl. z. B. W. Schumacher, Physik in Anwend. Agrikultur Pflanzenphys. **1**, 296 (Berlin 1864).

[8]) C. Sprengel, Urbarmachung (1830) 65.

Von solcher Überschlämmung oder Verschlämmung des Landes durch Hochwasser ist dann zuletzt nur noch ein Schritt bis zu der Bildung von fließenden Sandmassen sowohl in kleinem Umfang, wie in Form der zumeist und jedenfalls zunächst stets verheerend wirkenden Schlammströme.[1]) Diese können sich, teils nur durch Niederschläge bedingt — dann wesentlich in kälteren[2]) Klimaten,[3]) — teils im Zusammenhang mit vulkanischen Ausbrüchen[4]) in wechselndem Umfange zeigen, wo Gebirge ihre Entstehung begünstigt.[5]) Daß solche Erscheinungen auch gelegentlich einmal zur Erhöhung und gewissermaßen Auffrischung der Fruchtbarkeit weiter Landflächen führen können, hat E. C. J. Mohr für Java geschildert.[6]) Uns interessieren hier aber mehr die einfachen fließenden Sande bescheidenerer Wirkung. Es mag hier am Platze sein, nochmals auf die Beobachtungen und Versuche W. Springs[7]) zurückzukommen, die leider, ebenso wie W. Baggers[8]) kurzer Hinweis auf ähnliche Beobachtungen und recht deutliche Angaben W. Schumachers,[9]) so unbeachtet blieben, daß A. Atterberg einen Teil derselben erst vor kurzem wieder neu auffinden konnte.[10]) Wie bereits erwähnt, stellte W. Spring u. a. fest, daß ein Sandwassergemisch unter Umständen als selbständige Flüssigkeit aufzu-

[1]) Auch Moorsubstanz kann, wie bekannt, mit Wasser solche Schlammströme verursachen. Vgl. abgesehen von diesbezüglichen Mitteilungen der neueren geologischen Literatur, auch L. Lesquereux, Untersuch. üb. Torfmoore (1847) 165.

[2]) Die niedere Temperatur vermehrt die innere Reibung des Wassers. Bei 25° ist unter sonst gleichen Bedingungen in Wasser die Sinkgeschwindigkeit eines Körpers doppelt so groß wie bei 0 Grad. Vgl. Wi. Ostwald, Forschungsber. Biolog. Stat. Ploen **10**, 11 (1903).

[3]) Literatur dazu, nach A. Atterberg angeführt: Baron G. de Geer, Geolog. Foeren. Foerhandl. **26**, 465 (1904); R. Sernander, ebendort **27**, 42 (1905); J. G. Andersson, Journ. Geology **14**, 91 (1906); B. Högbom, Geolog. Fören. Förhandl. **27**, 19 (1905). Neueste Angaben zu dieser Frage bei K. Sapper, Internat. Mittlg. Bodenkunde **4**, 53 (1914), wo auch noch viel Literatur.

[4]) Vgl. dazu auch K. Sapper, Vulkangeb. Mittelamerikas (1905) 180. Die großen, für solche Schlammströme notwendigen Wassermassen werden, wo nicht etwa schmelzender Schnee zu ihrer Bildung beitragen kann, durch Kondensation der ungeheuren, aus den Kratern ausgestoßenen Wasserdampfmengen erzeugt, die dann als heftige Platzregen niederfallen; K. Sapper, a. a. O. 116, 136.

[5]) Vgl. auch K. Sapper, a. a. O. 144.

[6]) E. C. J. Mohr, Bull. départ. agricult. Indes Néerland. Nr. **17**, 3 (1908). Ähnlich auch K. Sapper, a. a. O. 149.

[7]) W. Spring, Bull. Soc. Belg. Géol., **17**, Mémoires 13 (1903).

[8]) W. Bagger, Inauguraldissertation (Königsberg 1902) 75.

[9]) W. Schumacher, Ackerbau (Wien 1874) 18.

[10]) A. Atterberg, Internat. Mitteil. Bodenk. **1**, 18 ff. (1911).

treten vermag.[1]) Das führt uns zu der in Deutschland wie anderen Orts bekannten Erscheinung[2]) der fließenden Sande.[3]) Wir kennen sie als Schluff, Schlepp, Schlump, als Mergelsande,[4]) Letten, Melmboden, Mollehm,[5]) als Heidelehme,[6]) Floßlehme, in Hannover als Flottlehm[7]) bzw. Flottsand,[8]) in Westfalen als Senkelboden,[9]) in Süddeutschland und Österreich als Schlierboden,[10]) in Ungarn als Szikböden ohne zu hohen Alkaligehalt[11]) und so weiter.[12]) Es handelt sich, worauf bereits E. W. Hilgard für ähnliche amerikanische Vorkommnisse hinwies, um Böden mit verhältnismäßig sehr viel feinstsandigen Bestandteilen, aber nur mäßigem Gehalt an wirklicher Tonsubstanz.[13]) E. Ramann schließt sich dieser Ansicht an.[14]) Auch eine Notiz A. Sauers läßt sich in gleicher Rich-

---

[1]) Vgl. oben Seite 86 u. f. Weiter Bull. Soc. Belg. Géol., **17**, Mémoires 29 (1903).

[2]) Meines Wissens wird ein solcher Boden zum erstenmal beschrieben und auch seine Eigenschaft des Zerfließens in nassem Zustande richtig hervorgehoben von R. Graf. Chaptal, Agrikulturchemie, übers. Eisenbach (Stuttgart 1824) 173. Neueste Beobachtungen über sie z. B. bei R. Albert, Zeitschr. f. Forst- u. Jagdwesen **44**, 5 sowie 144 (1912).

[3]) Auch Tonmassen können unter Umständen in Bewegung kommen, es handelt sich dann aber meist mehr um ein Gleiten, wie bei Gletschern. Vgl. z. B. E. W. Hilgard, Amer. Journ. Science Arts [3] **7**, 209 (1874). A. Atterberg beschreibt aber wirklich fließende, steife Tonarten. Landw. Versuchsstat. **69**, 134/5 (1908). Auch K. Sapper fand aus Ton durch Regen erzeugte, kleine Schlammströme, Habilitationsschrift (Leipzig 1910) 28—32.

[4]) Z. B. F. Wahnschaffe, Oberflächengestalt. norddeutsch. Flachland, 3. Aufl. (1909) 201; M. Fleischer, Bodenkunde in Ch. A. Voglers Grundlehr der Kulturtechn., 4. Aufl. **1** (1), 56 (Berlin 1909); P. Graebner-O. von Bentheim, Handb. d. Heidekultur (Leipzig 1904) 199—200. E. Ramann unterscheidet Mergelsand von Flottlehm, Zeitschr. deutsch. Geolog. Gesellsch. **67**, 291 (1915).

[5]) C. Sprengel, Bodenkunde, 2. Aufl. (Leipzig 1844) 108.

[6]) F. Erdmann, Allg. Forst- u. Jagdztg. (1899) 1. Auch R. Albert, a. a. O. 149.

[7]) P. Graebner-O. von Bentheim, Handb. d. Heidekultur (Leipzig 1904) 199; E. Ramann, a. a. O., wo auch weitere Literatur.

[8]) Z. B. E. Ramann, Bodenkunde, 3. Aufl. (Berlin 1911) 548; L. Milch, Grundlag. d. Bodenkunde (1899) 140.

[9]) J. N. von Schwerz, Landwirtsch. Westfalen u. Rheinpreußen **1**, 127 (Stuttgart und Tübingen 1837); O. Lemcke, Inauguraldissertation (Münster 1903) 43.

[10]) Vgl. H. Gruner, Landw. Jahrb. **39**, 613 (1910).

[11]) Vgl. A. von 'Sigmond, Wiener landw. Ztg. **55**, 628 ff. (1905).

[12]) z. B. E. W. Hilgard, Soils (Neuyork 1906) 114.

[13]) E. W. Hilgard, Amer. Journ. Science Arts (3) **7**, 10—11 (1874); Forsch. Geb. Agrikulturphys. **2**, 449 (1879).

[14]) E. Ramann, Bodenkunde, 3. Aufl. (Berlin 1911) 547.

tung verwerten,[1]) ebenso Angaben W. Schumachers.[2]) Diese Flottsande treten, in der erforderlichen Weise durchfeuchtet, als selbständige Flüssigkeiten auf, und quellen und treiben, wenn sie unter Druck stehen, aus Seitenwänden von Erdbauten oder Bohrlöchern hervor, wie eben eine dickliche Flüssigkeit.[3]) Dagegen muß es verwirrend wirken und ganz falsche Vorstellungen hervorrufen, wenn man dies Verhalten als Plastizität bezeichnet.[4]) Mit dieser, mit Bildsamkeit, haben diese Sande nicht viel gemeinsam.[5]) Daß dort, wo solche Böden stärkeren Regengüssen ausgesetzt sind und nicht Gehalt an Kalk oder mildem Humus der Verflüssigung entgegenwirkt, sie wirklich auch bei uns in unangenehmer Weise fließen,[6]) besagt schon der hannoversche Lokalname. Ganz besonders stark verbreitet scheinen solche Vorkommnisse auch in Skandinavien zu sein, wo sie nach A. Atterberg dem Bahnbau Hindernisse bereiten.[7]) Gewisse sandige Moränenböden sollen schon bei 10 % Wassergehalt zu fließen beginnen.[8]) Auch dort ist ihr Name „Gärlehm", auch „Frostlehm",[9]) bezeichnend. Das kennzeichnende Merkmal der Tundraböden ist ein schwach alkalischer, sehr leicht verfließender, in der Einzelprobe anscheinend flüssiger Lehm, der sogenannte „dritte Horizont" dieser Böden.[10]) Schließlich ist auch die Erscheinung des Trieb-

[1]) A. Sauer, Erläut. geolog. Spezialkarte Sachsen, 2. Aufl. 26, 29 (1905).

[2]) W. Schumacher, a. a. O. 502.

[3]) Siehe oben 86 u. 115. Diesbezügliche Angaben auch schon bei H. Puchner, der bereits Gemische von Wasser mit feinem Sande mit einer zähen Flüssigkeit verglich. Vgl. Forsch. Agrikulturphysik **19**, 6 (1896). Auch J. Thoulets Untersuchungen wären zu erwähnen. Annal. Chim. et Phys. (6) **12**, 48/49 (1887); weiter V. Pollack, Koll.-Zeitschr. **20**, 33 (1917).

[4]) E. Ramann, a. a. O.; vgl. dagegen auch A. Atterberg, am später angegebenen Ort.

[5]) Indes dürfte auch die Ansicht P. Rohlands, durch die „große Wasserimbibitionskraft" sei das „Stehen" von Böden charakterisiert usw., zum mindesten auf diese Bodenarten gar nicht passen. Denn sie danken gerade ihr „Fließen" ihrer großen Aufnahmefähigkeit für Wasser. Vgl. hierzu P. Rohland, Koll.-Zeitschr. **12**, 189 (1913), aber auch A. Atterberg, vorige Seite, Anmerk. 10; weiter V Pollack a. a. O.

[6]) Z. B. C. Sprengel, Urbarmachungen (1838) 245; A. Atterberg weist auf die Wasseranreicherung von Schlufflehmen durch Frost und ihr daraus folgendes Fließen hin. Intern. Mittlg. Bodenk. **6**, 36 (1916).

[7]) A. Atterberg, Landw Versuchsstat. **69**, 134 (1908); Intern. Mittlg. Bodenk. **1**, 19 (1911); Koll.-Zeitschr. **20**, 3 (1917).

[8]) A. Atterberg, Koll.-Zeitschr. **20**, 5 (1917). Vgl. weiter S. Johansson Sv. geolog. Undersök. **7**, C [256] 91 (1913).

[9]) A. Atterberg, Intern. Mittlg. Bodenk. **2**, 25 (1912).

[10]) K. Glinka, Typen der Bodenbildung (Berlin 1914) 173. Ssukatschew Ber. Kais. Akad. Wissensch. (Petersburg 1911).

sandes nichts als das Auftreten eines aus Wasser und Sand bestehenden Breies, der sich wie eine selbständige dicke Flüssigkeit[1]) verhält.[2]) Daß man früher mit Sandwassergemischen direkt Grundverbesserungen (Meliorationen) ausgeführt hat und sie auf der Fähigkeit sandiger und lehmiger Stoffe mit Wasser dicke Flüssigkeiten zu bilden, aufbaute, die dagegen der Ton zumeist nicht in gleichem Maße besitzt, zeigen alle älteren Bodenkunden.[3]) Heute verwendet man in ähnlicher Weise Sandwassergemische als Versatzmittel im Bergbau.[4]) In allen diesen Fällen dürfte, wie bei den vorbehandelten Erscheinungen der Mitführung von Bodenkolloiden weiteren Umfanges, eine niedere Temperatur vorteilhaft sein, weil sie sowohl die Auflösung ausflockender Salze beschränkt, wie auch die innere Reibung des Wassers und damit seine Fähigkeit, Stoffe aufgeschwemmt zu erhalten, erhöht.[5]) Denn z. B. nach O. C. Ralston[6]) brauchte ein Erzschlamm bei 2° viermal so viel Zeit zum Absetzen wie bei 49°.

3. Sonnenschein, Wärme und Trockenheit.

a) Schwinden der Bodenkolloide.

Konnten wir im vorigen Abschnitt die Quellung der Böden als Folge der Wirkung des Wassers auf die Bodenkolloide betrachten, so ist damit bereits auch schon die Erklärung für die Ursache der entgegengesetzten Erscheinung, des Schwindens,[7]) gegeben.[8]) War aber die

[1]) Ähnliche Erscheinungen kommen auch bei Bauten vor, vgl. G. Hagen, Wasserbaukunde, zit. nach G. Berendt, Schrift. Physik.-Ökonom. Ges. Königsberg (1868) **9**, 152. Vgl. auch 273 unten.

[2]) Vgl. dazu, abgesehen von W. Springs schon erwähnten Arbeiten, auch G. Berendt, Schrift. Physik.-Ökonom. Ges. Königsberg **9**, 146, 149 ff. (1868); E. Ramann, Bodenkunde, 3. Aufl. (Berlin 1911) 118.

[3]) C. Sprengel, a. a. O., besonders 96; auch J. Lorenz, 3. Programm Gymnas. Salzburg (1853) 20.

[4]) Vgl. z. B. K. Seidl, Zeitschr. Oberschles. Berg- u. Hüttenmänn. Ver. (1911) Januarheft.

[5]) Vgl. u. a. P. Ehrenberg, Mitteil. landw. Inst. Univ. Breslau **4**, 464 (1908), weiter A. Atterberg, Internat. Mitteil. Bodenkunde **1**, 20 (1911). Ähnliche Ansichten und weitere Literatur bei E. Ramann, Zeitschr. deutsch. Geolog. Gesellsch. **67**, 283 (1915).

[6]) O. C. Ralston, Eng. and Min. Journ. **101**, 890 (1916).

[7]) Daß viele Kolloide bei Änderungen des Wassergehalts quellen beziehungsweise schwinden, ist bekannt. Es sei an die Erfahrungen des täglichen Lebens mit Brot, Leim, aber auch mit kolloiden Niederschlägen im Laboratorium erinnert. Für kolloide Kieselsäure erwähnt J. M. van Bemmelen das Schwinden beim Austrocknen, Zeitschr. anorg. Chem. **30**, 265 (1902).

[8]) Vgl. dazu auch z. B. M. Fleischer in Ch. A. Voglers Grundlehr. Kulturtechn. **1** (1), 137 (Berlin 1909).

Beobachtung besonderer Folgen des Quellens der Böden wenigstens unter unseren klimatischen Verhältnissen bislang wohl völlig unterblieben und daher seine eingehende Besprechung augenblicklich zum mindesten als schwierig, wenn nicht als aussichtslos anzusehen, soweit es sich um die Verhältnisse im freien Felde handelt, so liegen die Verhältnisse beim Schwinden ganz anders. Jeder auf einigermaßen schwerem Boden wirtschaftende Landmann kennt die Risse, welche sich im Sommer im Boden zeigen und besonders bei starker Austrocknung breit und tief werden. Daß ihr Sichschließen bei Auftreten von feuchtem Wetter wesentlich auch durch das Aufquellen des ausgetrockneten Bodens bedingt wird, findet meist weniger Beachtung, während als Ursache der Bildung solcher Risse selbstverständlich von jedem Landmann die Trockenheit angegeben wird. Die Ansicht, daß solche Risse nur die Folge der Wasserabgabe durch schnelle Verdunstung seien [1]) und bei langsamem Austrocknen ausblieben, ist bereits früher zurückgewiesen worden. [2])

Über das Schwinden der verschiedenen Bodenarten sind nun ziemlich zahlreiche Untersuchungen bereits vorhanden. G. Schübler [3]) ermittelte für reinen Ton eine Volumverminderung von 100 auf 82, für Humus [4]) auf 80. F. Haberlandt, der mit einer ganzen Reihe von Naturböden arbeitete, [5]) fand bei reichem Weizenboden aus Prerau eine Volumverminderung um rund 19%, bei Moorerde sogar um 27½%. Ganz erheblich stärkere Schwindungsverluste führt aber M. Fleischer nach Untersuchungen der Moorversuchsstation Bremen an, wobei für mit Wasser vollgesogenen Ton-(Seemarsch-)boden das Volum im Verhältnis 100 : 50, für älteren Moostorf wie 100 : 17 und für jüngeren Moostorf wie 100 : 48 schwand. [6])

Ähnlich fand E. W. Hilgard bei strengen Tonböden ein Schwinden von 28 bis mehr als 40%, [7]) und V. Zailer und L. Wilk berichten von einem Schwinden von Lebertorfen fast bis auf ein Fünftel ihrer früheren Raumausdehnung. [8]) J. Früh führt sogar einen Lebertorf aus Ostpreußen an, welcher sich auf ein Elftel verdichtet haben soll. [9])

---

[1]) F. A. Fallou, Pedologie 103—104 (Dresden 1862).
[2]) F. Haberlandt, Fühlings landw. Ztg. 26, 482 (1877).
[3]) G. Schübler, Grundsätze d. Agrikulturchemie 2, 79 (1830).
[4]) Wohl schwarzer Torf (?).
[5]) F. Haberlandt a. a. O.
[6]) Vgl. a. a. O. 138.
[7]) E. W. Hilgard, Soils (Neuyork 1906) 113.
[8]) V. Zailer und L. Wilk, Zeitschr. Moorkult. Torfverwert. 5, 112 (1907).
[9]) Ebendort, nach Angaben von V. Zailer und L. Wilk.

M. Fleischer weist auch noch für Moorboden darauf hin, daß das Schwinden desselben ein um so stärkeres war, je weiter sich die Vertorfung vorgeschritten zeigte, was offenbar mit einer Zunahme der kolloiden Stoffe gleichbedeutend sei.[1]) Ganz die entsprechenden Ansichten finden sich bereits bei E. Wollny.[2]) — E. W Hilgard stellte ja auch für den von ihm hergestellten, wahrscheinlich noch stark mit feinstem Sand gemischten Kolloidton ein außerordentliches, dem der gekochten Stärke vergleichbares Schwinden fest,[3]) und auch W. Brewer sah bei dem von ihm gewonnenen Kolloidton ungeheures Einschrumpfen beim Trocknen.[4])

Das Schwinden von Erdboden, sei er auch Torfmoor, findet nun in der Natur zumeist nicht in solchem Umfang statt wie bei Versuchen. Einmal kommt es bei uns äußerst selten zu wirklich vollständigem Austrocknen, dann aber erstreckt sich solches immer nur auf die oberen Bodenschichten. Immerhin konnte z. B. F. Sitensky beobachten, daß ein 230 cm hohes Torfprofil in drei Jahren auf 150 cm zusammenschrumpfte und auch in anderen Fällen immer noch bedeutende Herabsenkungen der Mooroberfläche stattfanden.[5]) Ähnlich stellte J. G. Andersson bei seinen Untersuchungen über „wandernde" Torfmoore in Finnland Schrumpfungen von Torflagern von 2 m auf 0,5 m fest.[6]) Man ist ja auch bei der Kultur der Moore, zumal bei der Anlage von Gräben im Moor durchaus gewöhnt, mit einem „Setzen" des Moors nach der Entwässerung zu rechnen, obwohl man mit Sorgfalt den Wasserentzug nicht allzu weitgehend auszuführen sucht. Mit als Grund für solche erheblichen Wirkungen bei durchaus nicht vollständigem Austrocknen ist wohl der Umstand anzusehen, daß nach Untersuchungen M. Fleischers die Volumverringerung z. B. stark gequollenen Tonbodens in der ersten Zeit des Austrocknens am erheblichsten sein soll,[7]) wenn man den Volumverlust für das Gramm verlorenen Wassers berücksichtigt. Hierzu würden

[1]) M. Fleischer in Ch. A. Voglers Grundl. Kulturtechnik, 4. Aufl. **1** (1), 138 (Berlin 1909).

[2]) E. Wollny, Zersetz. organ. Stoffe (Heidelberg 1897) 238.

[3]) E. W. Hilgard, Soils (Neuyork 1906) 61.

[4]) W. Brewer, Amer. Journ. Science Arts [3] **29** Nr. 1 (1885).

[5]) F. Sitensky, Arch. naturwiss. Landesdurchforsch. Böhmen **6**, 189 (1889). Ähnliche Angaben bei E. J. Russell-H. Brehm, Boden u. Pflanze 90, Anm. 2 (Dresden 1914).

[6]) J. G. Andersson, Geolog. Förening. Stockholm Förhandl. **20**, 44 (1898)

[7]) Nähere Untersuchungen mit modernen Hilfsmitteln wären auch hier wohl erwünscht. Die Angaben M. Fleischers a. a. O. 138.

übrigens Angaben von J. Aron passen.[1]) Ganz ähnlich fand G. Keppeler, daß aus gepreßtem Torf in den ersten fünf Minuten je 100 ccm Wasser ausflossen, von der 5. bis 10. Minute je 14 ccm, von der 20. bis 40. Minute je 2,5 ccm. Ganz ähnliche Verhältnisse zeigen sich bei der Steigerung des Druckes. Keppeler schließt hieraus, daß man zwischen mehr lose festgehaltenem Wasser aus Kapillaren, Poren u. dgl. unterscheiden muß, und dem Wasser, das die kolloiden Stoffe aufquellt, und die riesigen, inneren Oberflächen derselben benetzt.[2]) Doch zeigt auch Gelatine ganz entsprechende Unterschiede ihres Quellungswassers, indem ein kleiner Teil desselben unter starker positiver Wärmetönung aufgenommen wird. Daran schließt sich eine sehr große Wasseraufnahme ohne merkliche Wärmeentwicklung.[3]) Entsprechend fand K. Gerike,[4]) daß bei Gelatine der größte Teil des Wassers sehr schnell abgegeben oder aufgenommen wird, während die letzten Reste sich nur allmählich verlieren. — Ob auch die Wirkung einer Erwärmung auf die Quellung der Bodenkolloide ebenso bedeutungsvoll ist, wie dies bei Gelatine von L. Arisz festgestellt werden konnte,[5]) ob auch, wie nach seiner Annahme bei der Gelatine, eine größere Verminderung der Teilchengröße beim Quellen in Wasser stattfindet, als beim Quellen im Dampf,[6]) ist bislang leider noch völlig unbekannt.

Daß zumal bei Moorkulturen als Folge des Schwindens weitgehende Schädigungen durch Zerreißen des Moores eintreten können, ist bekannt. F. Sitensky[7]) führt das Entstehen von bis 100 m langen Klüften an und gibt, ebenso wie auch M. Fleischer,[8]) noch ähnliche Tatsachen. G. Andersson[9]) beobachtete in Finnland Loslösung von Torfschollen bis zur überraschenden Größe von 40 ha, die auf dem Wasser der Frühjahrsüberschwemmungen fortschwammen. Ähnliche Verhältnisse, bei denen man Torf-

[1]) Nach B. Kerl, Handb. ges. Tonwarenindustrie, 3. Aufl., bearb. E. Cramer und H. Hecht (1907) 47.

[2]) G. Keppeler, Refer. z. Punkt 4, Sitzg. Zentral-Moorkommission, 16. Dez. 1912.

[3]) E. Rosenbohm, Inauguraldissertation Erlangen (1913) 50.

[4]) K. Gerike, Inauguraldissertation Erlangen (1914) 64. Auch L. Arisz unterscheidet zwei Perioden bei der Gelatinequellung. Kolloidchem. Beiheft **7**, 78 (1915).

[5]) L. Arisz, Kolloidchem. Beiheft **7**, 84 u. f. (1915).

[6]) Ebenda 22 u. f., 81/83.

[7]) F. Sitensky a. a. O. 193. Schwund- und Schrumpfungsspalten in Kohlenflözen, sog. „Schlechten", bespricht H. v. Höfer;[9]) sie sind den entsprechenden Vorkommnissen in Mooren natürlich verwandt. Mittlg. Geolog. Gesellsch. Wien **8**, 16 (1915).

[8]) M. Fleischer, a. a. O. 138, Anmerk.

[9]) A. a. O.

schollen durch Anpfählen vor dem Forttreiben zu schützen suchte, gab es noch im vorigen Jahrhundert auch in manchen Moorgegenden Deutschlands. Es ist dies alles ein Zeichen dafür, daß wie beim Quellen so auch beim Schwinden der Bodenkolloide sehr starke Kräfte wirksam werden können. Hat doch H. Rodewald berechnet, daß ein Gramm trockener Stärke beim Quellen einen Druck von nicht weniger als 2523 Atmosphären [1]) entwickelt, und ist doch bekannt, daß schrumpfende Gelatine wie schwindender Ton im Laboratorium Glasgeräte zersplittert und sogar Glasbrocken aus Uhrgläsern herausbrechen kann![2]) Kein Wunder, daß beim Schwinden des Ackerbodens in trockenen Sommerszeiten auch die Wurzeln unserer Kulturgewächse zerrissen werden! Über solche, besonders auf Moor starken Einfluß ausübende Schäden hat schon W. Schumacher berichtet.[3])

Da die Bildung der Risse und ihre Ursache, der Wasserverlust, wesentlich von der Temperatur abhängt, so liegt es nahe, daß tropische oder wenigstens heiße Gegenden bei Regenmangel viel mehr davon aufweisen können. Wir finden denn auch solche Angaben von den javanischen Reisfeldern z. B.[4]), wie von den schweren, tonigen indischen Baumwollböden.[5]) Doch auch für die „Prärieböden" der Vereinigten Staaten berichtet E. W. Hilgard von weiten, gähnenden Rissen, die bei einer Breite von drei und mehr Zoll [6]) sich bis zu einigen Fuß Tiefe erstrecken,[7]) und ich konnte im trockenen Jahre 1911 auf schwerem Ackerboden in Deutschland Risse von 3 bis 4 cm Breite nicht selten beobachten.[8]) In der afrikanischen Mkattaebene fand P. Vageler auf Savannenböden in der Trockenzeit oft $^1/_4$ Fuß breite Risse,[9]) und selbst in den Tundren Sibiriens entstehen durch trockene Winde auf der von Schnee freigefegten

[1]) H. Rodewald, Landw. Versuchsstat., **45**, 223 (1894). Derselbe Forscher berechnet später als höchsten Druck, mit dem von uns als trocken bezeichnete Stärke das Wasser anzieht, 2073 kg auf den Quadratzentimeter bzw. 2008 Atmosphären. Zeitschr. physik. Chem. **24**, 218 (1897).

[2]) Vgl. Wo. Ostwald, Grundriß d. Kolloidchemie, 1. Aufl. (Dresden 1909) 386; H. Freundlich, Kapillarchemie (Leipzig 1909) 503; G. Given, Inauguraldissertation Göttingen 23 (1915).

[3]) W. Schumacher, Physik in Anwend. Agrikultur Pflanzenphys. **1**, 497 (Berlin 1864). Für anmoorigen Sand ebendort 201.

[4]) S. V. Simon, Tropenpflanzer, Sonderdruck aus Nr. 9—12, 38, Anmerk. (1912).

[5]) H. E. Annett, nach Chem. Centr. **81** (2), 2132 (1910).

[6]) Inches, also die angegebene Breite gleich 7½ und mehr Zentimetern.

[7]) E. W. Hilgard, Soils 112.

[8]) Ähnlich E. J. Russell-H. Brehm, Boden u. Pflanze (Dresden 1914) 169).

[9]) P. Vageler, Beihefte Tropenpflanzer **11**, Nr. 4 u. 5, 86 (1910). Vgl. weiter H. v. Höfer, Mittlg. Geolog. Gesellsch. Wien **8**, 6—9 (1915).

Fläche sich kreuzende Spalten.[1]) Die Art der Risse vermag unter Umständen für die Bodenstruktur eine gewisse Rolle zu spielen, daher sei darauf hingewiesen, daß nach F. Haberlandt bei raschem Austrocknen zahlreiche feine, engmaschige Risse, bei langsamem Austrocknen dagegen mehr auseinander liegende und weitere Sprünge entstehen.[2]) E. Wollny[3]) und H. v. Höfer geben weitere Mitteilungen über Regelmäßigkeiten im Verlauf von Austrocknungsspalten.[4])

Auf diese Weise kommt es, wie auch beim Frost, zu einer Auflockerung des Erdbodens, die von der durch Menschenhand vorgenommenen Bodenbearbeitung unabhängig ist. Nehmen wir an, ein schwerer Boden befinde sich mäßig angefeuchtet im Zustand engster Aneinanderlagerung seiner Einzelteilchen. Trocknet er nun stärker aus, so müssen sich die bekannten Spalten und Risse bilden, in die bei einigermaßen längerer Dauer der Trockenheit Staub, Humusteilchen, abbröckelnde Erdteilchen hineinstürzen, sich unten locker aufhäufend. Unter besonderen Umständen hat man durch solche Ursachen sogar eine, man möchte sagen, natürliche Düngung der tieferen Bodenschichten mit organischer Substanz feststellen können.[5]) Ja, E. W. Hilgard berichtet sogar, daß „in ariden Gegenden bei später Sommerszeit häufig Böden unter der zu flach gepflügten Oberflächenschicht so schwinden und zerreißen, daß diese tatsächlich in die Risse fällt und die Wurzeln all den zerstörenden Einflüssen der mechanischen Verletzung und Austrocknung aussetzt."[6]) Für gewöhnlich wird freilich die Lockerung des Bodens durch Rissebildung und Abbröckeln von Erde in sie hinein immer nur gering und niemals mit der durch menschliche Arbeit veranlaßten zu vergleichen sein. Aber sie ist ebenso wie die Lockerung durch den Frost auch im unbearbeiteten Waldboden und an manchen anderen Stellen vorhanden.[7]) Bereits G. Schübler führt auch die weitgehende selbsttätige Zerkleinerung toniger Mergel[8]) auf Volumänderungen beim Quellen

---

[1]) Tanfiliew, Bull. Com. Géol. Petersburg **9**, (1890); **10** (1891).

[2]) F. Haberlandt, Fühlings landw. Ztg. **26**, 490 (1877).

[3]) E. Wollny, Forsch. Geb. Agrikulturphysik **5**, 43 (1882).

[4]) H. v. Höfer, Mittlg. Geol. Gesellsch. Wien **8**, 3. u. 6 (1915).

[5]) F. J. Alway und C. E. Vail, Journ. Ind. Engineer. Chem. **1**, 74 (1909).

[6]) E. W. Hilgard, Soils 113.

[7]) E. W. Hilgard sagt z. B.: „Bei den meisten Böden bringt an Ort und Stelle wiederholt abwechselndes Feucht- und Trockenwerden eine lockere, flockige Textur zustande, solange keine Entflockung durch mechanische Ursachen, so Platzregen oder rinnendes Wasser, zustande gebracht ist." Vgl. Soils (Neuyork 1906) 118.

[8]) Ein solcher Mergel findet auch z. B. auf dem Göttinger Versuchsfeld Verwendung.

und Schwinden zurück.[1]) Weiteres Beobachtungsmaterial gibt z. B. M. Berkmann.[2]) In unseren Gegenden höchstens in recht geringem Umfange, erheblich aber in Wüsten, vermag ferner in ganz gleicher Weise, wie das Auskristallisieren von Eis, auch das Auftreten und Wachsen von Salzkristallen den Boden zu lockern und zu zerkleinern. Besonders S. Passarge[3]) und E. Kalkowsky[4]) haben neuerdings hierauf hinweisen können.[5]) Und wie später bei Besprechung des Krümelgefüges im Boden zu zeigen sein wird, ist die erste Möglichkeit für seine Entstehung in festgepackt gelagertem, Einzelkornstruktur aufweisendem Boden die Lockerung von dessen Gefüge, sei sie durch Quellung und Schwinden, Frost, mechanische Wirkungen oder sonstwie hervorgerufen.

Es ist nämlich zu bedenken, daß sich nicht nur von der Oberfläche in die Tiefe gehende Spalten bilden. Zwar wollte F. Haberlandt jede andere Spaltenbildung ausschließen.[6]) Doch kann er sich damit nicht auf dem richtigen Wege befinden, und die Begrenzung seiner Untersuchung auf verhältnismäßig kleine Laboratoriumsbedingungen wird als Ursache anzusehen sein.[7]) Denn es liegt nahe, daß dort, wo sich Spalten in den Boden hinein erstrecken, an ihnen die Verdunstung neu einsetzt, die angrenzenden Bodenteile zur Austrocknung bringt und so ähnlich, wenn auch schwächer als an der Bodenoberfläche, Spannungen entstehen läßt, die wieder zu Rissen senkrecht zur neuen Austrocknungsfläche führen können. Diese Risse laufen dann aber der eigentlichen Bodenoberfläche parallel. Außer diesen theoretischen Überlegungen, welche für das Vorhandensein eines zweiten horizontalen Rißsystems neben dem viel stärkeren vertikalen sprechen, können dafür auch Beobachtungen aus der Praxis angeführt werden.[8]) So vermag also eine gewisse Zerkleinerung und Lockerung des Bodens als Folge des Schwindens beim Austrocknen einzutreten.

[1]) G. Schübler, Grunds. d. Agrikulturchemie **2**, 80 (1830).

[2]) M. Berkmann, Intern. Mittlg. Bodenk. **3**, 8—12 (1913).

[3]) S. Passarge, Kalahari (1904) 508.

[4]) E. Kalkowsky, Sitzungsber. u. Abhandl. Isis Dresden, Jahrg. 1901, Abhandl. 61, 66 (1902).

[5]) Vgl. oben 141, Anm. 1. Ferner K. Andrée, Geolog. Rundsch. **2**, 124 (1911).

[6]) F. Haberlandt, Fühlings landw. Ztg. **26**, 491 (1877).

[7]) F. Haberlandt, a. a. O. 484—487.

[8]) F. Sitensky beobachtete bei Schwinden von Torfmoor neben der Bildung von senkrechten Klüften auch Risse und Sprünge in der Richtung der Schichtung des Moores; vgl. F. Sitensky, a. a. O., und weiter E. Wollny, Zersetz. organ. Subst. (Heidelberg 1897) 238. Auch Angaben E. Ramanns dürften in dieser Richtung zu verstehen sein. Vgl. dessen Bodenkunde, 3. Aufl. (Berlin 1911) 303 u. 328.

Dieselbe kann namentlich in heißen Gegenden einen unter Umständen recht erheblichen Umfang annehmen.[1])

Aber diese Risse mit ihren Folgen — daß sie durch Vermehrung der Oberfläche, die der Luft und Sonne ausgesetzt ist, außerdem das Austrocknen befördern, ist ja bekannt — haben auch noch andere Bedeutung. Sie zeigen uns an, daß die Bodenoberfläche bei schweren Böden sich eintrocknend mit ganz erheblicher Kraftäußerung zusammenzieht. Kann dadurch nicht auch auf die Pflanzen ein Einfluß ausgeübt werden, abgesehen vom Zerreißen[2]) in der Linie entstehender Spalten belegener Wurzeln?

Es ist nützlich, hierfür wieder auf Erscheinungen bei extremen Bodenarten zurückzugreifen; doch sei zuvor daran erinnert, wie stark sich bei Laboratoriumsversuchen die Schwindung zu äußern vermag.[3]) E. W. Hilgard berichtet denn auch davon, daß[4]) bei manchen Tonböden nach Befeuchtung durch Regen oder Bewässerung warmer Sonnenschein an der Oberfläche Krusten entstehen läßt, die sich beim Fortschreiten der Austrocknung so heftig um den Stengel des Getreides zusammenziehen, daß die Rinde zusammengepreßt, beschädigt und so für die Saat ernsthafter Schaden verursacht wird. Ganz ähnliche Erscheinungen sind aber dem deutschen Rübenbauer in manchen Gegenden bekannt. Man kann sogar mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit manche Fälle des gefürchteten Wurzelbrandes[5]) der Rübe dadurch erklären,[6]) daß die durch irgendwelche Umstände gebildete Kruste sich ganz so, wie es E. W. Hilgard für Getreide schildert, ringförmig um die zarte Wurzel der jungen Rübenpflanze zusammenzieht und hier sowohl Verletzungen und damit Einfallspforten für Pflanzenschädiger schafft, wie auch überhaupt durch Zusammenpressen der oberen Wurzelteile den ganzen Säfteverlauf in der Pflanze stört und so ihre Widerstandsfähigkeit schwächt. Bei näherer Betrachtung dürften wohl noch öfter derartige Schäden nachzuweisen sein.[7])

Es wäre gewiß ein dankbarer Vorwurf, überhaupt die Wirkungen

---

[1]) So K. Sapper in seinen Beobachtungen aus Guatemala, Mittlg. geogr. Gesellsch. Hamburg **17**, 142 (1901).

[2]) Hinweise darauf schon bei C. Sprengel, Bodenkunde (1837) 182. F. W. Foremann teilt z. B. weiter von dem schweren Boulder-Ton mit, daß er im Sommer weite, den Weiden verderbliche Risse bildet, Journ. Agricult. Science **2**, 167 (1907).

[3]) Vgl. Seite 150, ferner 207 u. f.

[4]) E. W. Hilgard, Soils (Neuyork 1906) 112.

[5]) Vgl. unten die bei Besprechung der Chilesalpeterwirkungen gemachten Angaben.

[6]) Eine Ansicht, die mir von Herrn Professor G. Frölich-Halle a. S. an der Hand seiner Erfahrungen in Rübenbaugegenden bestätigt wurde.

[7]) Vgl. z. B. Münch, Naturw. Zeitschr. Forst- u. Landw. **11**, 557 (1913).

des Quellens und Schwindens schwerer Böden auf die Kulturpflanzen einschließlich der Waldbäume zu prüfen; ebenso wie auch ein Aufsuchen von vorbeugenden Maßnahmen damit zusammenzugehen hätte. Die Wirkungen von Salzen, die ja auf Quellen wie Schwinden großen Einfluß auszuüben vermögen, würden dabei nicht unbeachtet zu lassen, aber doch vielleicht nicht allein zu berücksichtigen sein,[1] da der vor dem Einsetzen des Schwindens zumeist herrschende Regen sie doch oft aus den oberen Bodenschichten fortwaschen dürfte. Dagegen wäre z. B. gegen solche Pflanzenschädigungen durch Schwinden, wie beim Wurzelbrand der Rüben, das Überstreuen der Felder mit Sand in geringeren Mengen wenigstens des Versuches wert, wenn auch der Erfolg völlig unsicher ist. Bekämpft man doch durch Sandzusatz auch in den Tonfabriken das unerwünschte Schwinden des Tones.[2] Außerdem sei auf die Versuche E. Wollnys über den Einfluß von Salzen auf das Schwinden von Kaolin hingewiesen, bei denen Ätzkali und kohlensaures Kali das Schwinden verstärkten, während besonders Ätzkalk bzw. daraus entstandenes Karbonat es in ganz außerordentlicher Weise verminderte.[3]

Für den Leser, welcher zwar eine Druckschädigung von Pflanzen infolge von Quellen des Bodens, aber nicht durch sein Schrumpfen sich vorstellen kann, sei an die Wirkungen des in der Heilkunde häufig benutzten Kollodiums erinnert, das bei seinem unter starker Schrumpfung eintretenden Festwerden sehr starke Druckwirkungen auf die damit bestrichenen Hautstellen ausübt.

b) Lichtfällung.

Wie bereits früher betont war und noch später näher darzulegen sein wird, glaube ich dem Ausflockungsvorgang erhebliche Bedeutung für das Bodengefüge überhaupt, besonders aber für die Krümelbildung zuschreiben zu müssen. Es ist daher kurz zu erwähnen, daß auch die hier in Frage stehenden Witterungserscheinungen, Sonnenschein, Wärme und Trockenheit sich in dieser Richtung zu betätigen vermögen. Daß Licht auf Kolloide unter Umständen fällend zu wirken vermag, ist durch

---

[1] Wie später zu besprechen sein wird, findet Ätzkalk als Mittel gegen die Verkrustung der Felder und damit gegen den Wurzelbrand u. a. in Schlesien weitgehende Benutzung; ebenso auch Superphosphat, vgl. Landwirt, 87 u. 98 (1896).

[2] Am geeignetsten würde natürlich ein Überstreuen der Rübenfelder nach der Bestellung mit mäßig feinem Kalksand oder sehr feingemahlenem kohlensauren Kalk erscheinen. Wie weit solche Maßnahme freilich Erfolge versprechen würde, müßte erst eine exakte Prüfung lehren.

[3] E. Wollny, Forsch. Geb. Agrikulturphysik **20**, 21 (1897/98).

verschiedene Untersuchungen nachgewiesen. Es seien hier Angaben von L. Michaelis erwähnt, die sich freilich auf kolloide Farbstoffe beziehen.[1]) Ähnliche Beobachtungen sind schon in älterer[2]) und neuerer[3]) Zeit gemacht worden, so daß man an der Tatsache selbst füglich nicht zweifeln kann. Und da z. B. für Hefen die Fällungswirkung bewiesen ist, so würde man sie wohl auf die Aufschwemmungen von Kleinlebewesen des Bodens wenigstens zum Teil übertragen können. Das kann aber für landwirtschaftliche Fragen nicht viel bedeuten, denn Aufschwemmungen solcher Art werden selten dem Licht in erheblicher Weise ausgesetzt sein. Anders möchte es sich mit Trübungen von Ton und feinsten Sanden verhalten, und da ist es gewiß nicht unwichtig, daß gerade die ältesten Beobachtungen über die Einwirkung von Licht auf Kolloide bzw. Aufschwemmungen bei Tontrübungen gemacht worden sind. W. R. Williams beobachtete, daß Sonnenlicht das Zusammenballen und Ausfallen von solchen Stoffen förderte, vertritt indes auch mehr die Ansicht, daß es sich um die Folge von Strömungen in der Flüssigkeit handele, die der Erwärmung einzelner Stellen halber entständen.[4]) Auch A. Atterberg beobachtete fällende Wirkungen des Lichts auf Bodenaufschwemmungen.[5]) Nähere Untersuchung scheint demnach auch hier noch sehr am Platze, zumal vielleicht auch von der Frage der Selbstreinigung der Flüsse aus die Lichtfällung von Kolloiden eine gewisse Bedeutung besitzen kann.

c) Wärmefällung.

Daß auch Wärme Kolloide und Aufschwemmungen weitgehend zum Ausfallen bringt, ist bekannt. Man wird unwillkürlich an das Gerinnen von Eiweißlösungen denken, indes doch hier unmittelbare Vergleiche um so weniger ziehen dürfen, als Eiweiß durch Hitze weitgehend chemisch

[1]) L. Michaelis, Beitr. chem. Physiol. u. Pathol. **8**, 40 (1906).

[2]) H. Schulze, Journ. f. prakt. Chemie **144**, (N. F. **32**) 396/7 (1885). O. Reinke, Wochenschr. Brauerei 1896, 400. Die Beobachtung bezieht sich auf Hefen, Wärmeeinflüsse waren ausgeschlossen.

[3]) G. Dreyer und O. Hanssen, Compt. rend. **145**, 234 (1907), die allerdings mit ultraviolettem Licht arbeiteten. Die von L. Vanino beobachtete fördernde Wirkung des Lichts bei Bildung von kolloidem Gold, Koll.-Zeitschr. **2**, 51 (1908), konnte bei allerdings anderer Herstellungsart von P. Ehrenberg und H. Pick, Koll.-Zeitschr. **5**, 30 (1909), nicht bestätigt werden. Vgl. auch noch H. Molisch, Naturwiss. Rundschau **26**, 256 (1911); F. Hartwagner, Koll. Zeitschr. **16**, 79 (1915); O. Herstadt, Kolloidch. Beihefte **8**, 424 (1916).

[4]) W. R. Williams, Forsch. Geb. Agrikulturphysik **18**, 258, 303 (1895).

[5]) A. Atterberg, Internat. Mitteil. Bodenk. **3**, 314 (1913).

verändert wird. Nur die im Boden etwa vorhandenen Schleime von Bakterien und anderen Kleinlebewesen dürfen für Vergleiche mit Eiweiß herangezogen werden.

aa) Kochen bei der Schlämmanalyse.

Doch auch reine Aufschwemmungen, bei denen an chemische Beeinflussungen durch Wärme nicht viel zu denken ist, fallen bei Erhitzung aus. So Tonschlamm in Wasser.[1]) Dabei ist nicht die Verminderung der Dichte bzw. inneren Reibung das allein Maßgebende, worauf schon von verschiedenen Seiten hingewiesen wurde.[2]) Die hierdurch bedingte Förderung des Ausfallens schwebender Teilchen bleibt vielmehr ganz außerordentlich hinter der Wirkung der Wärme zurück, die auch nach S. E. Linder und H. Picton den fällenden Einfluß geringer Elektrolytmengen verstärkt.[3])

Im Boden werden ja nun meist die in Frage kommenden Wärmegrade niedriger sein, dafür aber häufig lange andauern, so daß zu überlegen bleibt, wieweit eine dauernde mäßige Temperaturerhöhung an Stelle einer kürzeren, aber stärkeren Erhitzung zu treten vermag. Da höhere Wärmegrade bei Aufschwemmungen das Ausfallen direkt veranlassen — Kolloide im engeren Sinn verhalten sich vielfach anders — so werden erhöhte, jedoch immer noch als niedriger zu bezeichnende Temperaturen jedenfalls begünstigend darauf wirken, so daß im allgemeinen die Geschwindigkeit der Ausfällung mit der Temperatur schneller wächst, als der Abnahme der inneren Reibung des Wassers entspricht.[4])

Doch auch die Wirkung der Siedewärme auf Aufschwemmungen ist für den Landwirt nicht ohne Bedeutung. Ich konnte schon oben darauf hinweisen, daß W. R. Williams[5]) durch Benutzung erhitzter Tontrübungen zu ganz irrigen Anschauungen über die Größe der Tonteilchen kommen

[1]) C. Barus, Bull. U. S. Geol. Survey 5, 524, 527 (1887); C. Barus, Physik. Beiblätter 12, 563 (1888); C. Barus und E. A. Schneider, Ann. Phys. 48, 335 (1893).

[2]) Die von H. Freundlich, Kapillarchemie (Leipzig 1909) 369, gegebene Ansicht wäre demnach unrichtig; vgl. C. Barus, Bull. U. S. Geol. Survey 5, 527 (1887); C. Barus und E. A. Schneider, Zeitschr. physik. Chem. 8, 286 (1891); W. Spring, Bull. Class. Scienc. Acad. Roy. Belg. 7, 485 (1900).

[3]) S. E. Linder und H. Picton, Journ. Chem. Soc. 8, 1931 (1905): „Rise of temperature lowers the concentration of salt necessary for coagulation."

[4]) P. Ehrenberg, Mitteil. landw. Inst. Univ. Breslau 4, 468 (1908).

[5]) W. R. Williams, Forsch. Geb. Agrikulturphysik 18, 248—249 (1895).

mußte. Übrigens hat W. R. Williams selbst die Beobachtung gemacht, die acht Jahre zuvor schon von C. Barus veröffentlicht wurde,[1]) daß Erhitzung von Ton- und Erdtrübungen, und zwar wie er fand, schon auf 40—60°, zur Bildung von Flocken führt, die aneinander kleben, wachsen und zur Klärung des Wassers führen.[2]) Abgesehen nun davon, daß wir mit 40—60° schon mehr in die Nähe der für unseren Wald- und Ackerboden wichtigen Wärmegrade kommen, hat das Erwärmen und sogar das längere Kochen der zu untersuchenden Bodenproben bei der Schlämmanalyse des Bodens eine sehr große Rolle gespielt,[3]) und findet dabei noch heute Anwendung. Daß man aber durch Kochen der Bodenprobe dieselbe in einen ganz anderen Strukturzustand versetzt und die feinsten Teilchen dabei auch nach Abkühlen der Flüssigkeit größtenteils zusammengeballt, das Wasser dagegen klar erscheint, zeigten bereits die Beobachtungen von W. R. Williams.[4]) Es liegt nahe, daß wir durch Aufkochen der Bodenprobe die doch auf den ursprünglichen Zustand des Bodens zu beziehenden Ergebnisse unter Umständen, nämlich bei schweren Böden, zum Teil in ähnlicher Weise verändern, wie wenn wir feinen Kies nach seiner Beschaffenheit, die er in grobe Klumpen zusammengefroren zeigt, beurteilen wollten. Th. B. Osborne wies schon im gleichen Jahre, in dem C. Barus seine Beobachtungen über das Ausfallen von feinen Schlammarten aus heißem Wasser veröffentlichte, darauf hin, wie weitgehend Ton durch Kochen in seinen physikalischen Eigenschaften verändert werde. Beim Vergleich eines Schlämmverfahrens, bei dem die Probe eines schweren Bodens nicht gekocht wurde, mit anderen Methoden, die Siedehitze anwandten, konnte er feststellen, daß bei Unterlassen des Kochens statt 2—5% die doppelte Menge, 10% Ton, ge-

[1]) Da bereits E. Laufer im Jahre 1875 feststellte, daß Bodentrübungen durch Erwärmen geklärt werden können, vgl. Landw. Versuchsstat. **18**, 61 (1875), würde diesem der zeitliche Vorrang gebühren.

[2]) W. R. Williams, a. a. O. 248.

[3]) Wohl zuerst von A. A. Cadet de Vaux (Kenntnis d. Bodens f. Landwirte, übers. Renard [Frankfurt a. M. 1804]) angewendet und seitdem von A. D. Thaer, H. Davy, C. Trommer, Nöbel, E. Schöne, J. Kühn, M. Fesca und vielen anderen übernommen. Vgl. W. Edler, Journ. Landw. **31**, 185 (1883); R. Frühling, Bodenuntersuchung, 10. (Braunschweig 1904). Es wurde von H. Davy wie von A. D. Thaer warm empfohlen. Vgl. H. Davy, Elemente d. Agrikulturchemie, übers. F. Wolff (1814) 186. Auch H. A. Seeger kochte den Ton vor dem Schlämmen; vgl. seine von H. Hecht und E. Cramer gesammelten Schriften (Berlin 1896) 36.

[4]) W. R. Williams, a. a. O. 247, 259. Schon R. Fresenius (Anleit. quantitat. chem. Analyse, II, 661 [1887]) wies hierauf hin.

funden wurde.[1]) Sowohl die angeführten Beobachtungen von C. Barus und anderen, wie W. R. Williams Untersuchungen[2]) bestätigen Th. B. Osbornes Angaben,[3]) ebenso Versuchsergebnisse von P. Kaschinsky,[4]) C. Luedecke[5]), und D. J. Hissink[6]), sowie H. Kappen[7]). Auch anders geartete Einwirkungen des Kochens erscheinen möglich. Trotzdem ist auch noch heute in Deutschland fast ausschließlich das Aufkochen des Bodens die ausgeübte und empfohlene[8]) Methode![9]) Ebenso werden auch noch jüngst Ergebnisse von Schlämmanalysen verwertet, die zweifellos unter Kochen der Proben erhalten wurden, von anderen Fehlerquellen ganz abgesehen.[10])

[1]) Th. B. Osborne, Ann. report Connecticut Agric. Exp. Stat. 1887 (New Haven 1888), 144.

[2]) A. a. O., ferner ebendort 308.

[3]) Auch Mitteilungen G. Schüblers deuten auf das Zusammenballen von Tonaufschlämmungen beim Kochen, wenn dieser Forscher sie wohl auch noch nicht richtig zu deuten wußte, Grunds. d. Agrikulturchemie, 2. Aufl., **2**, 101 (1838).

[4]) P. Kaschinsky, Journ. exper. Ldw. **2**, 334 (1901). Daß dieser — Journ. exper. Ldw. **9**, 494 (1908) — durch Kochen mehr Teilchen unter 0,01 mm Durchmesser erhielt, als durch Ausschütteln des Bodens, ist natürlich kein Gegenbeweis gegen die oben geäußerten Ansichten, da unter Umständen durch das Kochen verstärkte Hydrolyse und andere Einflüsse sich überdecken können. Es zeigten sich diese Beobachtungen K.s auch wesentlich bei einem Boden.

[5]) C. Luedecke, Kulturtechniker, Sonderdruck: Wasserbewegung im Boden, II, 8 (1909?).

[6]) D. J. Hissink, Intern. Mittlg. Bodenk. **4**, 11 (1914).

[7]) H. Kappen, Landw. Versuchsstat. **88**, 45 (1916), fand nach Kochen der Proben mit 2½% Ammoniakwasser eine beschleunigte Klärung von Bodenaufschwemmungen, die voraussichtlich die Folge einer Vergröberung feinster Teilchen durch Zusammenballung beim Kochen war. Vgl. auch a. a. O. 39 u. 41.

[8]) Vgl. auch E. Arntz, Landw. Versuchsstat. **70**, 294—296 (1909).

[9]) Alex. Müller, Landw. Versuchsstat. **10**, 32 (1868); A. Nowacki, Bodenkunde, 2. Aufl. (1892) 89; J. Kühn, Landw. Versuchsstat. **42**, 154 (1893); Verband d. landw. Versuchsstat., ebendort **38**, 293 (1891), und **43**, 336 (1894); E. W. Hilgard, Landw. Versuchsstat. **42**, 164 (1893); F. Wahnschaffe, Wissensch. Bodenuntersuch., 2. Aufl. (1903) 24, 26, 28, 30, 39; H. Puchner, Landw. Versuchsstat. **56**, 142 (1902); J. König, Untersuch. landw. u. gewerbl. wicht. Stoffe, 4. Aufl. (1911) 6, 10; A. Atterberg, Internat. Mitteil. Bodenk. **2**, 314 (1912).

[10]) A. Mitscherlich, Bodenkunde, 2. Aufl. (Berlin 1913) 53; die angewandte Methode von E. W. Hilgard schreibt das Kochen nämlich vor; vgl. Forsch. Geb. Agrikulturphysik **2**, 57 (1879), und W. R. Williams selbst, der Gewährsmann A. Mitscherlichs, hat zwar die Flockung von Tonen u. dgl. bei Erwärmung sorgfältig beobachtet, glaubte aber, daß sie ohne Bedeutung sei, da sich die Teilchen für das bloße Auge wieder zerteilen ließen. Vgl. Forsch. Geb. Agrikultur-

Es ist hier nicht meine Aufgabe, die Schlämmanalyse selbst zu besprechen und ihre verschiedenen Ziele und Zwecke sowie ihre Erfolge kritisch zu behandeln. Dies ist bereits ausführlich von anderer Seite geschehen,[1]) und wenn ich den dort vorgetragenen Ansichten vielleicht auch nicht in jeder Hinsicht zustimmen kann, so ist ihnen doch gewiß recht weitgehende Bedeutung zuzugestehen, um so mehr, als ihre Widerlegung bislang nicht versucht worden ist. Glaubt man aber, wie die dauernde Beibehaltung der Schlämmanalyse in Vorlesungen, landwirtschaftlichen Laboratorien u. dgl. zeigt, mit ihren Werten praktisch nützliche Angaben zu bringen, worüber man ja verschiedener Meinung sein mag, so muß man jedenfalls die Ansicht aufgeben, als sei das Verfahren, so wie es jetzt zur Anwendung kommt, wissenschaftlich einwandfrei. Man muß unter anderem mit der Tatsache rechnen, daß zwar das Kochen der Erdprobe die Zerteilung von Bodenkrümeln, also gröberer und feinerer Vereinigungen in ihre Bestandteile erleichtert, was durchaus nicht bestritten werden soll, und auch durch E. W. Hilgard's[2]) und W. R. Williams'[3]) Arbeiten, wie ebenfalls durch Th. B. Osborne[4]) bewiesen ist. Gleichfalls werden aber, zumal bei kolloidreichen Böden,[5]) feinste Aufschwemmungen und wahrscheinlich auch ein nicht unbedeutender Teil der Bodenkolloide durch Kochen zu Flocken vereinigt und ausgefällt, so ihre Eigenschaften mehr oder weniger weitgehend ändernd. Wenn endlich W. Graf zu Leiningen mitteilt, daß gekochte Böden sich in der Regel schwer klärten, so kann dies durch Beseitigung zuvor in Lösung vorhandenen Kalziumbikarbonats, durch Auftreten von Hydroxylionen infolge verstärkter Hydrolyse, und noch anderweit erklärt werden.[6]) Die Mannigfaltigkeit der Einzelfälle ist hier wie sonst bei Untersuchungen von Stoffen aus der Natur eine sehr große. Was das Kochen für Einflüsse auf den physikalischen Zustand des Bodens ausübt, ist eben bisher überhaupt experimentell noch nicht ausreichend untersucht worden.

---

physik **18**, 248—249 (1895). Beiläufig sei hier bemerkt, daß eine ganze Reihe zum Teil von W. R. Williams selbst hervorgehobener Unvollkommenheiten auch abgesehen von der Behandlung der Probe durch Kochen die Verwendung der fraglichen Zahlen durch A. Mitscherlich als nicht besonders beweiskräftig erscheinen läßt.

[1]) A. Mitscherlich, Landw. Jahrbüch. **30**, 365 (1901).

[2]) E. W. Hilgard, Forsch. Geb. Agrikulturphysik **2**, 59 (1879).

[3]) W. R. Williams, Forsch. Geb. Agrikulturphysik **18**, 264, 308 (1895).

[4]) Th. B. Osborne, Ann. Rep. Connecticut Agric. Exp. Stat. 1886 (New Haven 1887). Vgl. auch Forsch. Geb. Agrikulturphysik **10**, 198 (1888).

[5]) Ebendort.

[6]) W. Graf zu Leiningen, Koll.-Zeitschr. **19**, 168/9 (1916). Vgl. auch folg. S.

Nun wäre noch möglich, daß die durch das Kochen gebildeten Flocken und Anhäufungen später durch den Schlämmvorgang wieder völlig getrennt und vereinzelt werden. Für andere, unter Umständen beim Schlämmen auftretende Flocken hat dies A. Mayer wenigstens behauptet.[1] Aber einzelne seiner zum Beweise angeführten Untersuchungen lassen sich heute, bei näherer Kenntnis der die Ausflockung feinster Teilchen regelnden Bedingungen, nicht mehr als beweiskräftig erachten.[2] Und besonders ist es durchaus wahrscheinlich, daß die immerhin erhebliche Einwirkung des Kochens nicht ganz so leicht wieder zu beseitigen ist. Wir haben oben gesehen, daß W. R. Williams in gekochten Tontrübungen mit dem Mikroskop feine, biskuitförmige Teilchen beobachten konnte, eben den durch Kochen zusammengeballten Kolloidton, während die übrigen Beobachter des Kolloidtons in ungekochtem Zustand, besonders sein Entdecker Th. Schlösing d. Ä., aber auch z. B. R. Warington,[3] nichts mehr mit dem gewöhnlichen Mikroskop wahrzunehmen vermochten. Auch von seiten der Tonindustrie ist bereits gelegentlich auf die starken Wirkungen hingewiesen worden, welche die Siedetemperatur auf Ton ausübt. Und weiter dürfen wir die Angaben Th. B. Osbornes anführen, der für längeres Kochen die Wirkung feststellte, daß Ton dauernd weniger in Wasser verteilbar wurde.[4] Er sagte auch direkt: Hat der Ton (durch Kochen) eine körnige Beschaffenheit angenommen, so bereitet es beträchtliche Schwierigkeiten, ihn in den Zustand zurückzuführen, in welchem er sich längere Zeit in Wasser in der Schwebe zu halten vermag.[5] Sehr wahrscheinlich wird die Wirkung kürzeren Kochens davon nur dem Grade nach verschieden sein. Th. B. Osborne gibt denn auch an, daß er an den aus gekochtem Ton ausgeschlämmten feinen Körnchen zum nicht ganz geringem Teile unter dem Mikroskop[6] beobachten

[1]) A. Mayer, Forsch. Geb. Agrikulturphysik **19**, 203 (1896).

[2]) Es ist kein Wunder, wenn A. Mayer trotz Anwendung von 1 % Ammoniaklösung keine feinere Zerteilung seiner Schlämmprodukte bemerkte, da er u. a. die Erde vorher mit verdünnter Salzsäure behandelt, und nun natürlich nicht mehr Ammoniak auf die Erde wirken läßt, sondern Chlorammonium. Vgl. dazu Forsch. Geb. Agrikulturphysik **19**, 203 (1896). Weiter A. Mayer, Agrikulturchemie **2** (1), 68 (Heidelberg 1914).

[3]) R. Warington, Lect. some phys. propert. soil (Oxford 1900) 15.

[4]) Th. B. Osborne, Ann. Rep. Connecticut Agric. Exp. Stat. 1886 (New Haven 1887), zit. nach E. W. Hilgard, Soils (Neuyork 1906) 61.

[5]) Th. B. Osborne, ebenda, 144. Vgl. Forsch. Geb. Agrikulturphysik **11**, 73 (1888).

[6]) Die Bedeutung der Beurteilung der Ergebnisse jeder Schlämmuntersuchung durchs Mikroskop hob auch E. W. Hilgard hervor, Forsch. Geb. Agrikulturphysik **19**, 402 Anmerk. (1896).

konnte, wie „sie beim Aufdrücken des Deckglases in zahlreiche kleine Partikel zerfielen“.[1]) Damit stimmen völlig ohne Kenntnis der Osborneschen Untersuchungen von H. A. Seger ausgeführte Bestimmungen überein, der bekanntlich[2]) ebenfalls seine Tone vor dem Schlämmen kochte. Dieser beobachtete gleichfalls, daß die beim Schlämmen erhaltenen feinen Körnchen „nicht aus dem, was wir sonst unter Sand verstehen, bestanden, sondern als Haufwerk von kleinen Ton- und Staubteilchen erschienen, die durch ein Bindemittel zu kleinen Körnchen verkittet sind“.[3]) So enthielt nach H. A. Seger der mittels des E. Schoeneschen Schlämmapparates gewonnene Staubsand aus Senftenberger Ton noch 9,30% Tonerde, und der auf gleiche Weise erhaltene des Tons von Andennes sogar 25,32%![4])

bb) Austrocknen der Bodenkolloide.

Wir gehen zur Betrachtung der Wirkung des Austrocknens auf die Bodenkolloide über und besprechen zuerst dessen Einfluß auf die Fähigkeit des Bodens, Wasser zu halten. Hierbei ist freilich scharf zwischen der eigentlichen Wirkung des Austrocknens zu unterscheiden und ihrer regelmäßigen Folge, falls das Austrocknen in einem von anderweitigen Gasen, etwa Luft, erfülltem Raume geschieht. Dann kommt es nämlich an den meist auch noch nach dem Austrocknen großen Oberflächen der Bodenkolloide und feinsten Bodenteilchen zu Adsorption von Luft, die natürlich einer erneuten Benetzung mit Wasser starke Widerstände entgegensetzen kann. Man denke an den bekannten Versuch, daß man aus einem Wasserbecken trockenen Fingers einen Gegenstand herausnehmen kann, wenn man die Wasseroberfläche dick mit Bärlappsamen bestreut. Diese Tatsachen, die auch für unsere forst- und landwirtschaftliche Bodennutzung nicht geringe Bedeutung zu gewinnen vermögen, sind hier aber augenblicklich nicht zu berücksichtigen.[5]) Es steht nur die Wirkung des Austrocknens an sich zur Verhandlung. Ob dabei allerdings in Wirklichkeit eine völlig scharfe Trennung zwischen beiden Erscheinungen besteht, vermag zurzeit wohl kaum entschieden werden.

[1]) Th. B. Osborne, a. a. O.

[2]) Vgl. oben 217 Anmerk. 3.

[3]) H. A. Segers gesam. Schriften, herausgeg. H. Hecht u. E. Cramer (Berlin 1896) 865. Der Ton war zwei Stunden ausgekocht, der Sand nach dem Abschlämmen nochmals zwei Stunden gekocht und noch einmal geschlämmt worden.

[4]) Nach C. Bischof, Feuerfest. Tone (1876) 87.

[5]) Darüber unten 250 u. f.

Beim Ton fehlen Untersuchungen über die Wirkung des Austrocknens in dieser Richtung, soweit mir bekannt; aber alles, was man sonst in Erfahrung bringen kann, scheint darauf hinzudeuten, daß das Austrocknen, wenn es überhaupt auf die Fähigkeit des Tones, Wasser zu halten, wirkt,[1]) doch nur sehr unbedeutende Folgen auslöst,[2]) die leicht wieder bei irgendwie längerer Befeuchtung verschwinden.[3]) Es würde dies zu dem Verhalten des Tons gegen Frost durchaus passen, wobei ja auch nur vorübergehende oder jedenfalls verhältnismäßig leicht wieder zu beseitigende, dem Austrocknen voraussichtlich verwandte Veränderungen eintreten, obwohl es sich um eine starke Einwirkung handelt. Wenn daher E. Ramann darauf hinweist, daß die Tonböden gegen Austrocknen empfindlich sind und, einmal völlig getrocknet, Wasser nur sehr langsam aufnehmen,[4]) so wird voraussichtlich dafür mehr die geringe Durchlässigkeit aufquellender Tonschichten für Wasser[5]) und Luft, wie auch etwaige Luftadsorption[6]) als Grund anzusehen sein.

Ganz anders liegen die Verhältnisse bei dem zweiten kolloiden Hauptbestandteil unserer Böden, dem Humus. Daß dieser durch Austrocknen recht erhebliche Veränderungen erleiden kann, ist keine neue Beobachtung. Schon G. Schübler teilt mit, daß von ihm hergestellte Humussäure, die man demnach als Humuskolloid würde bezeichnen können,[7]) trotz völliger Durchnässung nach dem Austrocknen bei weitem nicht mehr

[1]) F. F. Grout, West Virginia Geol. Survey, **3**, 47, (1906) nimmt an, daß Austrocknen den Ton und seine Bildsamkeit in keiner Weise beeinflußt.

[2]) Höchstens aus einem Vorschlage von J. N. von Schwerz bezüglich der Verbesserung von Sandboden durch mehrere Jahre getrockneten Ton möchte man andere Schlüsse ziehen können. Doch fehlt jede nähere Beweisführung; vgl. Landw. in Westfalen u. Rheinpreußen **1**, 188 (1837).

[3]) Andernfalls würde man wohl aus der Tonindustrie mehr über das Austrocknen und seine Wirkungen hören. Die einzige mir bisher bekannt gewordene Angabe hierzu fand ich bei H. E. Ashley, U. S. Geol. Survey, Bull. **388**, 12 (1909), wo auf die praktische Erfahrung der Töpfer verwiesen wird, daß schon bei niedrigerer Temperatur als 60° ausgetrockneter Ton merkbar in seiner Bildsamkeit zurückgeht. Vgl. auch P. Ehrenberg u. H. Pick, van Bemmelen-Gedenkboek, 200 (Helder 1910).

[4]) E. Ramann, Forstl. Bodenk. u. Standortsl. (Berlin 1893) 381; Bodenkunde, 3. Aufl. (Berlin 1911) 553.

[5]) Man vergleiche außer dem oben bei Besprechung des Quellens der Bodenkolloide Gesagten auch A. Mitscherlich, Landw. Jahrb. **31**, 598 (1902).

[6]) Über solche vgl. unten 250 u. f.

[7]) Damit sei die hier gänzlich fernliegende Frage der Säurenatur der Humussubstanzen in keiner Weise aufgenommen. Vgl. dazu das oben an verschiedenen Stellen Gesagte.

die große wasserhaltende Kraft zeigt wie zuvor,[1]) was A. F. Wiegmann bestätigte.[2]) Die gleiche Beobachtung machte G. Schübler auch an stark humushaltigen Böden[3]) und wies darauf hin, daß diese Gründe dafür sprechen, für gewisse Untersuchungen mit der „frischen“, nicht ausgetrockneten Bodenprobe zu arbeiten; ein Hinweis, der auch heute nach über achtzig Jahren noch für Bodenuntersuchungen seine volle Bedeutung besitzt.

Während G. Schüblers Angaben die Wirkung einer Luftadsorption ausschließen, spricht er doch von völliger Durchnässung seiner Proben, ist das gleiche von einer Reihe anderer Angaben nicht zu sagen, nur E.F.O. Lasius[4]) berichtet, daß einmal getrockneter Torf sich im Wasser nicht wieder erweicht; mehr noch dürfte Rühlmann zu nennen sein, da er feststellte, daß einmal lufttrocken gemachter Torf durch keine Bearbeitung wieder in seinen ursprünglichen Schlammzustand zurückzuführen, vielmehr in Wirklichkeit stofflich verändert sei.[5]) Dann sind vor allem Angaben von B. Tacke und H. Immendorff zu erwähnen. Hiernach schrumpft Torfmoorboden beim natürlichen oder künstlichen Austrocknen nicht nur stark, sondern er büßt seine Quellungsfähigkeit erheblich ein, bewahrt selbst gemahlen seine eigenartig griesige Beschaffenheit bei sehr langem Stehen unter Wasser und wird nie wieder stark kolloid.[6]) Ebenso gibt A. Mitscherlich aus seinen Trocknungsversuchen mit Moorboden als Schluß an, daß es sich beim Trocknen und Wiederbenetzen desselben nicht mehr um den einfachen, reversiblen Kreisprozeß handele, sondern daß der Boden sich dabei verändere.[7])

Als Schluß für das Verhalten des Ackerbodens zum Wasser nach erfolgtem Austrocknen ist hieraus wohl zu entnehmen, daß es nur die humusreicheren, die Humus- und die Moorböden sein werden, die dadurch stark in Mitleidenschaft gezogen werden;[8]) allerdings bezieht sich dies

[1]) G. Schübler, Grunds. d. Agrikulturchemie **2**, 29 (1830).

[2]) A. F. Wiegmann, Entstehung, Bild u. Wesen d. Torfs (Braunschweig 1837) 17.

[3]) G. Schübler, a. a. O 63.

[4]) Vgl. L. Lesquereux, Untersuch. üb. Torfmoore übers. A. von Lengerke (1847) 715, Anmerk.

[5]) Rühlmann, Journ. Landw. **6**, 88 (1858).

[6]) B. Tacke und H. Immendorff, Landw. Jahrb. **27** (4), 343—344 (1898).

[7]) A. Mitscherlich, Landw. Jahrb. **31**, 592 (1902). Vgl. weiter auch H. Fuchs, Inauguraldissertation (Rostock 1904) 69.

[8]) Vielleicht ist hierzu auch an Angaben von V. Zailer und L. Wilk über böhmische Mineralmoore zu erinnern, deren Torf „unter dem Einfluß der Luft“, also wohl wesentlich auch des Austrocknens usw. in ganz kurzer Zeit zerfällt, Zeitschr. Moorkult. u. Torfverw. **5**, 113 (1907). Ebenso vgl. man L. Lesquereux,

nur auf das Eintreten einer, sagen wir „inneren“ Veränderung des Bodens, als deren Ursache wir wohl mit Recht Oberflächenverkleinerungen seiner Humuskolloide durch das Trocknen ansehen dürfen, also Teilchenvergröberungen. Ähnlich nimmt man ja auch neuerdings für Gelatine Änderungen der Oberfläche an, die freilich bislang nur auf den reversiblen Gebieten näher beobachtet worden sind.[1]) Die Wirkung der Übertrocknung von Gelatine, wobei irreversible Vorgänge eine Rolle spielen dürften, würde wohl den Humusveränderungen mehr entsprechen. — Für die praktische Beurteilung kommt dazu wahrscheinlich noch sehr wesentlich die Wirkung der Luftadsorption in Frage.[2])

Wenden wir uns zu der Wirkung des Austrocknens von Ackerboden auf andere Eigenschaften desselben, als es die Wasseraufnahme ist, so wird aus dem bereits Gesagten ohne weiteres der Schluß erlaubt sein, daß gut merkbare Veränderungen vorwiegend bei mehr humushaltigen Böden auftreten werden.[3]) Denn sie sind selbstverständlich nur als Folgen „innerer“ Veränderungen des Bodens anzusehen. Wenn also z. B. J. Vanha davon spricht,[4]) daß energisches Austrocknen die Güte des Bodens begünstigt, so ist wohl an zum mindesten nicht ganz humusarme Böden zu denken, und wir werden diese Wirkungen in gewisser Richtung bei Torf- und Humusböden am schärfsten ausgesprochen finden.

Manche gelegentliche Verbesserung der Güte des Bodens oder, schärfer umschrieben, eine Vermehrung der Löslichkeit der Pflanzennährstoffe ist nun in der Tat als Folge des Austrocknens beobachtet worden. Die schon oben behandelten Löslichkeitsänderungen bei Seeschlick gehen freilich noch außer auf das Austrocknen auf die Frostwirkung zurück,[5]) und ein mir bekannter Fall, bei dem auf zuvor typisch phosphorsäurehungrigem Boden nach Durchfrieren und Austrocknen Phosphor-

a. a. O. 110 ff., wo C. Sprengel wie E. F. O. Lasius auf die Wirkung häufigeren Naßwerdens und Austrocknens, bzw. der Sonne und Luft, auf das Zerfallen von Brenntorf hinweisen.

[1]) Vgl. L. Arisz, Kolloidchem. Beihefte **7**, 22—35 (1915).

[2]) Vgl. darüber 253 u. f.

[3]) Weitere Prüfung dieser Fragen durch den Versuch wäre aber sehr nötig. Auch bei der Schlämmanalyse toniger Böden spielt nach neueren Untersuchungen im Göttinger Agrikulturchem. Institut die Austrocknung eine Rolle. Vgl. weiter E. Ramann, Bodenkunde, 65 (1911) und J. P. van Zyl, Journ. Landwirtsch. **64**, 212 (1916).

[4]) J. Vanha, Österr.-ungar. Zeitschr. Zuckerind. u. Landw. **30**, 146 (1901).

[5]) Vgl. oben 169 u. f.

säuredüngung nicht mehr erheblich wirkte,[1]) ist gleichfalls nicht eindeutig auf Trocknungswirkung zu beziehen. Ebenso sei hier ohne nähere Schlüsse der aus alter Zeit empfohlenen Verwendung von alten Stall- und Gartenmauern aus Lehm zur Düngung gedacht.[2])

Das Verhalten des Seeschlickes leitet uns aber zu dem durch Meeresanschwemmung entstandenen Marschboden über. Hierfür konnte B. Tacke ermitteln, daß stark kolloidhaltige und als solche auf Kalkgaben mit merkbarer Verbesserung ihrer physikalischen Eigenschaften antwortende Marschböden durch bloßes Austrocknen deutlich nachweisbare Erhöhungen der Löslichkeit ihrer Phosphorsäure und ihres Kalis aufwiesen.[3]) In dieser Richtung überhaupt brachte C. Brunnemann zuerst analytische Angaben über das Löslichwerden von Stickstoff in Niederungsmoor unter dem Einfluß der Austrocknung.[4]) B. Tacke konnte diese Ergebnisse bestätigen,[5]) ebenso B. Tacke und H. Immendorff,[6]) so daß wir hier auch für den Stickstoff eine direkt aufschließende Wirkung der Austrocknung vor uns haben.

In gleicher Weise wirkt aber Austrocknung auch auf die Phosphorsäure des Moores. B. Tacke und H. Immendorff konnten hier feststellen, daß zunächst bei Vegetationsversuchen mit verschiedenen Moorböden, die jahrelang vor Staub geschützt aufbewahrt und lufttrocken geworden waren, das früher große Phosphorsäurebedürfnis verschwunden war und auch ohne Phosphorsäuredüngung befriedigende Ernten erzielt wurden.[7]) Nähere Untersuchung ergab dann, daß nicht nur das Trocknen, sondern auch der Wasserentzug, z. B. durch Alkohol, einen Teil der im Torf ent-

[1]) Nach mündlichen Mitteilungen meines hochverehrten Lehrers Th. Pfeiffer-Breslau.

[2]) A. D. Thaer, Grunds. ration. Landw. **2**, 71 (1810); F. Schmalz, Erfahr. Geb. d. Landwirtschaft **4**, 144 (1820); A. v. Rosenberg-Lipinsky, Der praktische Ackerbau **1**, 92; **2**, 397 (1890).

[3]) B. Tacke, Mitteil. Deutsch. Landw.-Ges. (1902) Heft 18—19.

[4]) C. Brunnemann, Landw. Jahrb. **15**, 190 (1886). — F. Hermann, Ber. landw. Inst. Univ. Halle **19**, 127 (1909), erwähnt ähnliche Ergebnisse von Untersuchungen J. Neßlers auf Seite 175, doch muß das Zitat ungenau sein, da sich weder am angeführten Ort in Th. Dietrichs Jahresberichten der Agrikulturchemie noch in der angezogenen Arbeit selbst derartige Angaben finden. Es handelt sich wohl um eine andere Veröffentlichung J. Neßlers.

[5]) B. Tacke, Landw. Versuchsstat. **38**, 333 (1891).

[6]) B. Tacke und H. Immendorff, Landw. Jahrb. **27** (4), 317 (1898).

[7]) B. Tacke und H. Immendorff, Mitteil. Ver. Förder. Moorkultur **12**, Nr. 21 (1894). Ferner Sitzungsber. Naturforschervers. Lübeck (1895), Abt. Agrikulturchem. u. landw. Versuchswes., Chem.-Ztg. **19**, 1756 u. 2121 (1895); Landw. Jahrb. **27** (4), 313 (1898).

haltenen Phosphorsäure, und zwar bei einer ganzen Reihe von Proben, leicht löslich macht.[1]) Bei Anwendung starker Lösungsmittel ist ein derartiger Einfluß nur sehr wenig bemerkbar.[2]) Zur Erklärung dieser und anderer ähnlicher noch zu besprechender Erscheinungen sei darauf hingewiesen, daß die Forscher der Moor-Versuchsstation Bremen, welche hauptsächlich in Frage kommen, zuerst den Gehalt des Torfes an Nukleinen als wesentlich ansahen,[3]) dann aber auf einen von J. M. van Bemmelen gegebenen Hinweis zurückgingen, nach dem es sich bei einer derartigen Bindung von Phosphorsäure um kolloide Festlegung handeln kann.[4]) Ohne daß damit das Vorhandensein auch sehr wesentlicher Mengen anderweit gebundener Phosphorsäure ausgeschlossen werden soll, ist auf Grund dieser Untersuchungen anzunehmen, daß ein unter Umständen allerdings sehr erheblicher Teil des im Moor in Form von Phosphorsäure oder anderweit vorhandenen Phosphors von den Humuskolloiden gebunden ist und durch Austrocknen und ähnliche, die kolloiden Eigenschaften herabmindernde Eingriffe leichter löslich wird.[5]) Dabei ist es von hohem Interesse, daß diese kolloid gebundene Phosphorsäure offenbar für die Pflanzen nicht oder nur schwer zugänglich ist, durch Trocknen aber besser aufnehmbar wird.[6])

Bezüglich anderer wichtiger Pflanzennährstoffe liegen genaue Ergebnisse bislang meines Wissens für Torf nicht vor, insofern als nur eine einzige Untersuchung herangezogen werden kann. Hiernach scheint auch bei Kalk sowie Kali durch Austrocknen der Moorprobe die Menge wasserlöslicher Substanz zuzunehmen,[7]) wogegen auch schon schwache Salzsäure (0,5%) diese Erscheinung verdeckt.[8])

Ob wir es hier mit Adsorptionswirkungen der außerordentlich großen Kolloid-Oberflächen des Torfs[9]) auf verschiedene Pflanzennährstoffe zu tun haben, die infolge aller die Ausdehnung dieser Oberflächen stark herabmindernden Einwirkungen dann entsprechend löslich werden,

---

[1]) Ebenda 313 ff., 317, 336 ff.

[2]) M. Schmoeger, Landw. Jahrb. **25**, 1040 (1896).

[3]) M. Schmoeger, Ber. Deutsch. chem. Ges. **26**, 386 (1893). Derselbe, Landw. Jahrb. **25**, 1025 (1896).

[4]) J. M. van Bemmelen, Landw. Versuchsstat. **41**, 352, 371 (1890).

[5]) B. Tacke und H. Immendorff, Landw. Jahrb. **27** (4), 343 (1898).

[6]) Dieselben a. a. O. 345. Auch J. Dumont hat über diese Fragen gearbeitet, Compt. rend. **132**, 435 (1901); **143**, 186 (1906).

[7]) B. Tacke und H. Immendorff, Landw. Jahrb., **27**, Ergbd. **4**, 317 (1898).

[8]) Ebendort, 316.

[9]) Vgl. über deren Vorkommen außer der oben 62 u. 288 erwähnten Literatur über das Vorhandensein v. Humussäuren noch S. Odén, Kolloid-Zeitschr. **14**, 129 (1914).

ob andere Bindungen eine Rolle spielen, müssen weitere Untersuchungen lehren. Es ist sehr leicht möglich, daß beides in Frage kommt.

Vieles könnte hier im Anschluß noch behandelt werden, was bei der noch stärkeren Erhitzung des Bodens, wie sie die nun zumeist der Vergangenheit angehörende Brandkultur mit sich brachte, eine Rolle spielt. Es wird darüber aber erst später zu sprechen sein, da es sich dabei in der Regel um Eingriffe des Menschen, nicht um von ihm unabhängige Naturereignisse handelt. —

In enger Beziehung steht das Schwinden und Austrocknen der Bodenkolloide in den daran reichen Böden zu einer gerade bei diesen auftretenden, wichtigen Erscheinung, der physiologischen Trockenheit.[1]) Eine gewisse Menge des in den Böden enthaltenen Wassers, nach A. Mitscherlich[2]) das Einfache der nach H. Rodewald-A. Mitscherlich bestimmten Hygroskopizität, nach Th. Pfeiffer[3]) bedeutend mehr, ist für die Pflanzen völlig wertlos. Ein Welken der Pflanzen tritt aber schon bei erheblich höherem Wassergehalt ein, nach Mitscherlich bei der doppelten bis dreifachen Menge des Hygroskopizitätswassers. A. F. W. Schimper wies[4]) bereits darauf hin, daß Xerophyten ebenso auf dem dürren Sand, wie auf dem Moorboden sich finden. P. Vageler hat dann für afrikanische, kolloidreiche Mineralböden die Frage wieder aufgegriffen,[5]) H. Süchting[6]) und W. B. Crump[7]) ihr Beachtung geschenkt, ohne daß man bislang sicher unterrichtet wäre. Die Fülle von ungelösten Arbeitsvorwürfen ist auf diesem, wie den meisten anderen, sich mit den Bodenkolloiden beschäftigenden Gebieten übergroß.

cc) Krustenbildung ohne Düngesalzeinfluß.

Weiter ist hier noch der Krustenbildung zu gedenken, die häufig sehr gegen den Willen des Landwirts auftritt und viel Schaden verursacht. Zwar haben wir heutzutage mit der Tatsache zu rechnen, daß die Krusten-

---

[1]) R. Heinrich, Jahresber. Agrikulturchem. **18** u. **19**, I, 368 (1875/6); A. F. W. Schimper, Pflanzengeographie 4 bzw. 689 (1898). L. J. Briggs und H. L. Shantz, Bot. Gaz. **101**, 210 (1911); U. S. Dept. Agricult. Bur. Plant.-Industr. **280** (1912); E. J. Russell-H. Brehm, Boden u. Pflanze (Dresden 1914) 139.

[2]) A. Mitscherlich, Habilitationsschrift (Kiel 1901) 48; Bodenkunde, 1. Aufl. (Berlin 1905) 160.

[3]) Th. Pfeiffer, E. Blanck, K. Friske, Landw. Vers.-Stat. **82**, 270 u. f. (1913).

[4]) A. F. W. Schimper a. a. O.

[5]) P. Vageler Fühlings Landw.-Ztg. **61**, 83 (1912).

[6]) H. Süchting, ebenda 475/6 482.

[7]) W. B. Crump, Brit. Ass. Rep. (1911).

bildung in weitem Umfange von der Verwendung der verschiedenen, zur Düngung der Felder benutzten Salze abhängig ist, und wir werden, diesem Umstande Rechnung tragend, später noch besonders auf die hier vorliegenden Fragen eingehen müssen. Doch ist auch früher, als Anwendung von Kunstdünger kaum irgendwie in Betracht kam, die Krustenbildung bereits bekannt gewesen, wenngleich wohl in geringerem Umfang und nur auf von Natur stärker zu ihr neigenden Böden bzw. bei sehr ungünstiger Witterung. Denn die Zuckerrüben, welche eine besonders feine Bestellung erfordern und damit auch die Gefahr der Krustenbildung am nächsten rücken, spielten damals keine Rolle, und die häufige Anwendung der Brache bot wahrscheinlich ein gewisses Gegenmittel gegen das Verkrusten. Düngesalze endlich kamen noch nicht in Frage.

Erwähnung von Krustenbildung findet sich so z. B. bei J. N. v. Schwerz für den westfälischen „Senkelboden", diesen wenig Ton, selten Kalk, aber äußerst viel feinen Sand enthaltenden Fließsand.[1]) Ebenso erwähnt E. W. Hilgard für amerikanische Staubsandböden zu einer Zeit, als dort Kunstdünger wohl noch kaum angewendet wurde, daß sie sehr leicht stark verkrusten.[2]) Auch an anderem Ort spricht J. N. v. Schwerz von einer „Borke" des Bodens[3]) und zeigt sich weiter klar darüber unterrichtet, daß feine Pulverung bei der Bestellung, zumal stärkeres Eggen, die Verkrustung fördert.[4]) Noch deutlicher weist W. Schumacher auch noch zu einer Zeit, die nur geringere Verwendung von Kunstdünger kannte, darauf hin, daß feinkörnige Bodenbeschaffenheit und stärkere, sich öfters wiederholende Regengüsse die Krustenbildung bedingen, wie auch heftige, die Krume direkt aufweichende Güsse sogar auf sonst ihr Gefüge bewahrenden Böden eine Kruste entstehen lassen.[5]) Ebenso erwähnt E. Ebermayer[6]) Krustenbildung für den damals sicher nicht mit Kunstdünger versehenen Waldboden.

Zur Erklärung dieser ohne wesentliche Beiwirkung von Düngesalzen entstehenden Krustenbildung werden die folgenden Überlegungen dienen.

Daß Regengüsse die leichter löslichen Salze aus den oberen Schichten

[1]) J. N. von Schwerz, Landw. in Westfalen **1**, 137 (1837). Vgl. über den Fließsand oben 86 u. f. und 204.

[2]) E. W. Hilgard, Amer. Journ. Science Arts [3] **7**, 11 (1874). Vgl. dazu B. T. Galloway, Amer. Journ. Agr. Science **8**, 302 (1894).

[3]) J. N. von Schwerz, Prakt. Ackerbau **1**, 7 (Stuttgart und Tübingen 1823).

[4]) J. N. von Schwerz, Landw. in Westfalen **1**, 137 (1837).

[5]) W. Schumacher, Ackerbau (Wien 1874) 51.

[6]) E. Ebermayer, Lehre d. Waldstreu (Berlin 1876) 191, 231.

des Bodens auswaschen, haben wir erfahren. Je kleiner nun die Bodenkrümel sind, je feiner die Bestellung durchgeführt wurde, um so leichter kann dies geschehen und um so geringere Regenmengen werden ausreichen, die Krümel völlig zu durchfeuchten und auszuwaschen, während bei gröberen Krümeln das Niederschlagswasser schneller durch die größeren Zwischenräume versinkt, ohne die Krümel bis ins Innerste aufweichen und ihrer Salze berauben zu können.

Mit dem Verluste besonders der Kalksalze, und der Zufuhr steigender Mengen elektrolytarmen Regenwassers gehen die Bodenkolloide mehr und mehr aus dem klebenden, ausgeflockten Zustand in den der Lösung über. Sie erweichen und vermögen nicht mehr die einzelnen Bodenteilchen in den Krümeln in gewisser Entfernung voneinander zu halten, die Krümel lösen sich auf, sinken zusammen.[1]) Der mechanische Einfluß der Regentropfen wirkt bei ihrer Zerstörung mit und bedingt dann weiter eine enge Aneinanderlagerung, gerade so wie sich Sand unter Wasser gerüttelt aufs engste zusammensetzt.

Hierbei wirkt nun die Beschaffenheit der etwas tieferen Schichten der Böden auch noch mit. Finden sich hier gröbere Krümel, so kommt es nicht so leicht zu einem Wasserüberfluß in der obersten Schicht, falls nicht der Guß sehr heftig und anhaltend ist. Ist aber der Boden auch unter der Oberfläche sehr feinkörnig und nicht oder nur wenig in Krümelstruktur überführt, so kann auch eine geringere Wassermenge schon nicht mehr gut abfließen und die oberflächlich liegenden Bodenbestandteile werden in dem überstehenden Wasser aufgerührt, um sich dann in engster Berührung und Lage zu Boden zu setzen. Man vermag bereits hieraus zu beurteilen, daß als Gegenmittel gegen das Verkrusten tiefe, gute Beackerung, welche den Boden bis in möglichst große Tiefe in gröbere Krümel überführt, erheblich in Betracht kommen dürfte.

Für das Aneinanderlagern der Bodenteile spielt aber wieder deren Größe eine Rolle; mittlerer bis gröberer Sand wird selbst bei engster Lagerung immer noch nicht unerheblich große Zwischenräume lassen, die nicht so leicht auszufüllen sind.

Ganz anders feiner bis feinster Sand. Hier sind die Zwischenräume sehr eng und die Anzahl der Berührungspunkte für den Quadratzentimeter Oberfläche äußerst zahlreich. Die Folge davon ist eine doppelte. Einmal wird nach Aufhören des Regens sich auf dem feinkörnigen Boden eine lebhafte Kapillarwirkung betätigen. Die Sonne verdunstet zwar

---

[1]) So auch im Versuch; vgl. G. C. Given, Inauguraldissertation Göttingen 1915) 22 oben.

auch auf dem grobkörnigen Boden das Wasser der obersten Schichten; aber eine kapillare Nachlieferung tritt hier in weitaus geringerem Umfange bzw. gar nicht ein. Dagegen findet sie bei feinkörnigem Boden aus den nächstgelegenen Schichten sehr erheblich statt, und zwar um so mehr, je weitgehender er seine Krümelstruktur verloren hat. Das so durch die Verdunstungskraft der Sonne und den kapillaren Hub emporgeförderte Wasser ist nun aber keineswegs rein und frei von Beimengungen. Es bringt gelöste Bodenkolloide sowie zum Teil auch Salze mit sich und lagert sie, während es selbst verdampft, in die Zwischenräume der obersten Bodenschicht ein. So werden die Teilchen derselben gewissermaßen durch Kolloide verbunden, die dann infolge der mit dem Verdunsten des Wassers steigenden Konzentration, auch wohl durch Ansammlung von Salzen in der oberen Schicht, zur Ausflockung kommen und immer stärker klebend werden.[1]) Auch wohl Aufschwemmungen äußerst feiner Sande dürften so kurz nach dem Regen noch zum Teil emporgeführt und in den Zwischenräumen der obersten Bodenschicht abgesetzt werden können, dieselben verkleinernd und die Berührungspunkte vermehrend. Endlich kommt kohlensauerer Kalk zur Abscheidung, und verfestigt die Bodenteilchen, wie dies F. Senft für bestimmte Fälle deutlich schildert.[2]) War nun aber schon vorher durch den Anprall des Regens und ähnliche Umstände die Lagerung der Bodenteilchen eine äußerst enge, so kommt jetzt eine zusammenhängende Decke zustande, die dann durch Schwinden der austrocknenden Kolloide sich noch fester schließt, soweit es nicht zu direkter Spaltenbildung kommt. Hierzu ist noch zu beachten, daß bei heftigen Regengüssen der Erdboden ja das Wasser nicht alles aufzunehmen vermag, das sich so über den sich eng zusammenlagernden Bodenteilchen als stark getrübte Flüssigkeit ansammelt. Aus ihr setzen sich bei späterem Einziehen derselben ohnehin die in ihr aufgeschlämmt gewesenen feinen und feinsten Teilchen zwischen und über den Teilchen der bisherigen Bodenoberfläche als zusammenhängende Schicht ab,[3]) so gleichfalls an der Kruste mit bildend und bauend.

Mit dem Verschwinden des Wassers aus der obersten Schicht tritt endlich insofern noch ein weiteres Engerschließen derselben ein, als damit die wenn auch nur sehr dünnen Wasserhüllen der einzelnen

[1]) Über den Zusammenhang zwischen Ausflockung und Kleben vgl., abgesehen von dem früher beim Ton Gesagten, auch W. Spring, Bull. Class. Scienc. Acad. Roy. Belg. (1900) 499.

[2]) F. Senft, Steinschutt u. Erdboden (Berlin 1867) 215/16.

[3]) Hierauf führt z. B. F. Schindler die Krustenbildung wesentlich zurück; Lehre v. Pflanzenbau a. physiol. Grundlage (1896) 239.

Bodenkörnchen mehr und mehr verschwinden und durch die Kapillarwirkung doch nur zum Teil wieder ersetzt werden. So fügen sich die Bodenkörnchen noch enger zusammen, während unter der austrocknenden obersten Schicht sich weitere Bodenteile an sie anschließen, die Kruste weiter verdichtend und verstärkend. Besondere Fälle einer Krustenbildung ergeben sich, wie H. Puchner berichtet, unter Umständen in glimmerreichen Böden, die durch Bildung einer „mineralischen Pappe" abgeschlossen werden.[1]) Noch stärker sind die unter anderen klimatischen Verhältnissen vorkommenden, aber für uns lehrreichen Bildungen von Kalkkrusten z. B. in Marokko, die Th. Fischer beschreibt.[2])

Kleine Steinchen, ja auch gröbere Sandkörnchen werden aber, wenn sie in nicht zu geringer Menge vorkommen, schon Ungleichmäßigkeiten in dieser Schicht schaffen, welche leicht die Festigkeit und den Zusammenhalt der Kruste vermindern können, ebenso Humusteilchen, die durch ihr anderweitiges Verhalten beim Austrocknen zum Teil auch durch ihre ausflockende Wirkung auf Tonkolloid, die Krustenbildung hemmen müssen. Denn wenn es schon zu einem Ausflocken der Kolloide kommt, bevor diese durch kapillare Hebung in die engen Zwischenräume der oberen Schichten emporbefördert sind, so wird die völlige Verklebung derselben ausbleiben. Erst die allmähliche Konzentrierung durch die Verdunstung der größeren Menge des Lösungswassers und die so verhältnismäßig spät eintretende Ausflockung läßt die Verdichtung der Oberfläche recht in Erscheinung treten. Wieweit hierbei auch noch gelöste Humusstoffe als „Schutzkolloide" mitzuwirken vermögen, sei dahingestellt. Später wird bei Besprechung der Wirkungen der Düngesalze auf die Krustenbildung noch manches nachzutragen, dort wird auch des Einflusses von Kalk weiter zu gedenken sein.

4. Wind.

In engem Zusammenhange mit den soeben behandelten Wirkungen der trockenen, sonnigen Witterung auf die Bodenkolloide ist der Einfluß zu behandeln, den der Wind auf sie zu äußern vermag.

Wenn wir feinste Teilchen nicht durch Wasser, sondern durch bewegte Luft in Verteilung und damit zum Schweben bringen, so haben wir ein Gebilde, das gleichfalls in mancher Hinsicht kolloide Eigenschaften zeigt.[3]) Bekannt ist z. B. die beschleunigte Fällung von Rauch

[1]) H. Puchner, Intern. Mittlg. Bodenk. 3, 211 (1913).
[2]) Th. Fischer, Zeitschr. prakt. Geolog. 18, 112 (1910).
[3]) Vgl. oben auch 6, 7, u. a. dort Anmerk. 2.

und Staub durch elektrische Entladungen,[1]) ein häufig vorgeführter Versuch, der in vieler Hinsicht an die Elektrolytfällung von in Wasser aufgeschlämmten Kolloiden angrenzt, und schon in der Technik verwertet wird.[2]) Auch daß feinster Staub sogar ohne Rücksicht auf den Wind der Schwerkraft der Erde und ihrer Wirkung fast entzogen ist,[3]) beweist das jahrelange Schweben von Vulkanstaub,[4]) dem man seinerzeit nach dem Ausbruch des Krakatau[5]) die auffallenden Dämmerungserscheinungen zuschrieb.[6]) Man könnte weiter an die anerkannt „ausflockende" oder sagen wir hier vereinigende Wirkung von Rußteilchen auf in der Luft verteilten Wasserdampf denken, welche, zumal in Englands großen Städten,[7]) so stark auf die Nebelbildung wirkt,[8]) und auch auf die Nebel und Wolkennebel selbst zu sprechen kommen. Indes liegen diese Fragen, obwohl für den Land- und Forstwirt wichtig genug,[9]) doch mehr auf dem Gebiete der Witterungskunde, so daß hier der Hinweis genügen mag.

[1]) Vgl. R. Nahrwold, Annal. Phys. u. Chem., N. F. **5** (**241**) 497 (1878); J. Aitken, Nature **29**, 323 (1884); O. J. Lodge, ebenda **31**, 265 (1885); M. Ritter v. Pichler, Kais. Akad. Wissensch., Math. naturw. Kl. **93**, H. 3 (2) 408 (1886).

[2]) E. M. Dunn, Eng. Min. Journ. **98**, 873 (1914); ebenda 2738.

[3]) Nach Mitteilungen H. Bauers ist bei Berchtesgaden in Bayern 1902 ein starker Staubregen gefallen; den auch W. Graf zu Leiningen auf den Ausbruch des Mont Pelé zurückführt, Naturw. Zeitschr. Land- u. Forstw. **7**, 22 (1909).

[4]) Wie ganz ungeheuerlich die Ausdehnung von Aschenfällen sein kann, zeigen Angaben von K. Sapper, Vulkangeb. Mittelamerikas 7, 12, 14—15 (Aschenfäll von durchschnittlich 1½ m Höhe), 77, besonders 109 und Karte, Tafel I (Ausdehnung der Aschenfälle der Fläche nach) 131, 145. Man denke auch an Pompeji. Die Bildung der Aufschüttungskegel der Vulkane wird durch den Wind stark beeinflußt. K. Sapper, Zeitschr. deutsch. geolog. Gesellsch. **51**, 582 (1899).

[5]) J. Früh beobachtete in Batavia, d. h. 157 km vom Ursprungsort, gefallene Asche des Krakatau, wovon sehr viel von 0,0009—0,0038 mm Durchmesser, Vierteljahrsschrift Naturforsch. Ges. Zürich **44**, 173 (1899).

[6]) E. Kayser, Geolog. Rundsch. **2** 138 (1911); vgl. dazu auch K. Sapper, Vulkangeb. Mittelamerikas, wo von ähnlichen Erscheinungen als Folge von in der Luft schwebenden Ascheteilen mittelamerikanischer Vulkanausbrüche die Rede ist (1905) 136. Weiter O. J. Lodge, Nature **31**, 266 (1885); E. G. Harden, Zeitschr. dtsch. Geolog. Gesellsch. **51**, 599 (1899); abweichende Ansichten bei A. Wegener, Sitzungsber. Gesellsch. Naturwiss. Marburg (Marburg 1911) 17.

[7]) P. F. Frankland, Proc. Roy. Soc. **28**, Nr. 192, 238.

[8]) Vgl. dazu z. B. J. Aitken, Nature **23**, Nr. 583 (1880); R. von Helmholtz, Naturwiss. Rundschau **1**, 69 (1886).

[9]) Nebel kann sowohl durch Lichtentzug wie durch von den Wassertröpfchen aus Rauchgasen adsorbierte giftige Stoffe, wie Schwefeldioxyd, Pyridin, Phenole usw. schädlich auf die Pflanzen wirken. Vgl. z. B. F. W. Oliver, Journ. hortic. Soc. **1**, 26 (1893), nach: Fortschr. Geb. Agrikulturchemie **36**, 3 (1893).

Ebenso werden die mehr den landwirtschaftlichen Gewerben angehörigen Bildungen explosiver Mehlstaub-Luftgemische hier nicht zu behandeln sein.

Es liegt nahe, daß nur die feinen und feinsten Bodenteilchen der Aufwirbelung[1]) in höhere Luftschichten[2]) unterliegen bzw. zu irgendwie längerem Schweben kommen, wenngleich natürlich auch sowohl die Gestalt, das spezifische Gewicht und desgleichen, wie ebenso die Stärke der Bewegung des Luftstromes und seine Richtung, so etwa von unten nach oben, eine große Rolle spielen. So wird denn auch von Staubfällen in Italien berichtet, daß der trocken oder auch mit Regen gemischt niederfallende Staub ungreifbar fein erschien.[3]) Wenn somit auch aus sandigem Boden Staub weit fortgetragen wird,[4]) so handelt es sich demgemäß doch immer um ein Ausblasen der feinsten Teilchen.[5]) Nach neueren Berechnungen brauchen Teilchen von 1 μ Durchmesser und etwa der dreifachen Dichte des Wassers ein Jahr, um aus 2 km Höhe zur Erde niederzufallen.[6])

Die Frage, ob denn nun solche Erscheinungen für die Land- und Forstwirtschaft Bedeutung gewinnen können, ist durchaus zu bejahen.[7]) So liegt aus der Auvergne in Frankreich die Nachricht vor, daß das sehr fruchtbare Tal der Limagne im Laufe der Jahre jedenfalls sehr bedeutende Mengen von feinem Staub aus den umliegenden Bergen erhält.[8]) Die

[1]) Vgl. z. B. P. Ehrenberg, Fühlings landw. Ztg. **60**, 445—446 (1911); ferner K. Stamm, Refer. über F. Frees „Movem. soil mater. by wind", Washington 1911, in: Internat. Mitteil. Bodenk. **3**, 53 (1913).

[2]) Daß bei heftigem Wind selbst ziemlich grobe Sandkörner in mäßigen Höhen bewegt werden, beweisen Angaben von G. Behrendt, Schrift. Physik.-Ökon. Ges. Königsberg **9**, 143 (1868).

[3]) Nach P. Lancetta, Zeitschr. Österr. Ges. Meteor. **15**, 372 (1880). Vgl. weiter C. Cramer, Schweiz. meteor. Beob. (1868).

[4]) J. A. Hensele stellte die Windgeschwindigkeiten fest, bei denen Sandkörner von verschiedener Größe noch verweht werden. Dabei zeigte es sich noch, wie stark schon sehr geringe Wassergehalte des Bodens die Verwehung beeinträchtigen, beziehungsweise ganz verhindern, Forsch. Geb. Agrikulturphysik **16**, 363 (1893).

[5]) Dies liegt auf der Hand, wenn vom Auftreten roter Staubnebel aus der Sahara im Atlantischen Ozean berichtet wird. Vgl. G. Hellmann, Monatsber. Berl. Akad. Wiss. (Mai 1878) 364. Weiter F. Frhr. von Richthofen, China **1**, 98 (1877).

[6]) L. Sydry, Compt rend. **154**, 397 (1912).

[7]) So schon von A. v. Rosenberg-Lipinsky, Praktische Ackerbau **1**, 149, 238 u. f., **2**, 296, 680 (Breslau 1890). Ferner K. Stamm, Geolog. Rdsch. **3**, 360 (1912); A. Benke, Naturwissenschaften (Berlin 1914) 396; besonders auch W. Graf zu Leiningen, Mittlg. Geolog. Gesellsch. **3/4**, 139 (Wien 1915).

[8]) Alluard, Compt rend. **100**, 1080 (1885). Ähnliche Angaben schon bei F. Senft, Fels u. Erdboden (München 1876) 364.

Marokkanischen Schwarzerden sind nach T. Fischer[1]) durch Staubtromben aus den Steppen des Inneren herangeschafft und gebildet. Auch im Gebirge spielt die Staubzuführung durch den Wind gelegentlich eine große Rolle.[2]) In gleicher Weise geben Vulkanaschen, wo sie niedersinken, vielfach einen fruchtbaren Boden über dem ausgewaschenen Laterit der Tropen,[3]) während sie natürlich zunächst, besonders bei größeren Mengen, sonst schädigend wirken müssen, da sie die Pflanzen ähnlich wie Schnee bedecken und niederbeugen.[4]) In trockenen Gegenden von Guatemala wird die Bodenkrume, zum Teil auch anstehendes Gestein nicht selten durch die Arbeit des Windes fortbewegt und umgelagert.[5]) Dann weist O. Kellner für Japan auf „die Ortsveränderung hin, welche die feinsten Teile der trockenen Ländereien bei heftigen Stürmen erleiden.[6]) Ein Teil des undurchdringlichen gelben Staubes, welcher sich bis zu einer Höhe von nahezu 10 m erhebt und welchem die Japaner sprichwortweise den Wert des Goldes beilegen, lagert sich auf den fast immer feuchten Reisfeldern ab, so daß diese von den trockenen[7]) Ländereien gleichsam gespeist werden, während in der Ackerkrume der letzten eine stete Anreicherung an schwereren, unzersetzten Teilchen stattfindet".[8]) In Ungarn am Plattensee erreicht nach E. Ramann der Staubtransport durch Wind bereits beträchtliche Werte,[9]) und daß die russischen Steppen dem Eisenbahnreisenden häufig das Bild von Staubwolken und Staubsäulen bieten,[10]) ist bekannt. In Südwestrußland bildet vom Winde fortgetragener Staub eine Art trockenen Nebels, örtlich „Pomocha" genannt.[11]) Im Kreise Berdjansk in der Krim finden nach

[1]) T. Fischer, Zeitschr. prakt. Geol. **18**, 110 (1910).

[2]) W. Graf zu Leiningen Naturw. Zeitschr. Forst- u. Landw. **10**, 483 (1912).

[3]) Vgl. u. a. E. C. J. Mohr, Bull. départ. agriculture Indes Néerland. (1908) 17; nach K. Stamm enthält Vulkanstaub gewöhnlich 1—1,25 % K_2O, oft auch namhafte Mengen von Phosphorverbindungen. Geol. Rundsch. **3**, 372 (1912).

[4]) Vgl. dazu u. a. K. Sapper, Vulkangeb. Mittelamerikas (1905) 8. Ebendort 11, 23; fördernde Wirkung auf den Pflanzenwuchs 149; ferner ist 44 zu vergleichen.

[5]) K. Sapper, Mittlg. Geol. Gesellsch. Hamburg **17**, 143 (1901).

[6]) Ganz ähnlich für das Land Khotan: S. W. Johnson, Journ. Roy. Geogr. Soc. **37**, 5 (1867).

[7]) Daß auch bei schwereren Böden und Trockenheit gelegentlich durch Verwehungen Schaden entstehen kann, wurde mir aus Pommern mitgeteilt.

[8]) O. Kellner, Landw. Versuchsstat. **30**, 1 (1883).

[9]) E. Ramann, Bodenkunde, 3. Aufl. 127 (Berlin 1911).

[10]) Solche kommen auch in anderen, trockenen Gebieten häufig vor. Vgl. Intern. Mitteilg. Bodenk., **3**, 58, (1913).

[11]) Dimo, zit. n. K. Glinka, Typen d. Bodenbildg. (Berlin 1914) 219.

Bytschichin im Sommer und im Winter Staubstürme statt, welche die oberflächlichen Bodenschichten samt der Saat zerstören und mächtige Ablagerungen bilden. Im Jahre 1888 wurden so allein in diesem Kreise 34408 Desjätinen Saat zerstört.[1]) Von der Mongolei erwähnt F. Frhr. von Richthofen die „furchtbaren Staubstürme, welche ein Sediment veranlassen, das, für jeden einzelnen Ort auf Jahre oder Jahrhunderte berechnet, einen nicht unbedeutenden Faktor in der Bodenerhöhung ausmachen würde".[2]) G. Merzbacher machte am Tienschan die Erfahrung, daß Staubnebel wochenlang die Luft trübten und hinterher die Grasflächen mit Staub bedeckt waren. Es kommt dort so zu einer beständigen Löß-Bildung und Vermehrung.[3]) Auch an die Beobachtungen, welche bereits Ch. Darwin machte,[4]) sei hier erinnert. Daß bei heftigem Sturm auch in unserer Heimat dicke Sandstaubwolken sich zu mehrfacher Haushöhe erheben und manchen Kilometer weit wandern können, habe ich selbst mehrfach, z. B. in der Mark erst im Frühjahr 1912, mit Erstaunen beobachten können.[5]) Wichtig erscheinen in dieser Richtung besonders auch Beobachtungen von M. Bräuhauser, der die scheinbare Anreicherung von Steinen in der Oberkrume gewisser Lagen, ihr Fehlen an anderen Stellen durch Windtransport feiner Bodenteilchen erklärt.[6]) Ähnlich wies schon F. Senft[7]) darauf hin, daß der Wind gelegentlich tonig-sandigen Ackerboden in sandigen umwandelt. In gleicher Weise mag auch daher an so manchen Orten in Deutschland bei dafür günstigen Gelegenheiten ein Transport von feinem Staub[8]) auf

[1]) Zit. am gleichen Ort.

[2]) F. Frhr. von Richthofen, China **1**, 79 (1877). Ebenso 97.

[3]) G. Merzbacher, Petermanns Geogr. Mitteil., Erg.-Heft Nr. **149**, 38, 42.

[4]) Ch. Darwin, Bildung d. Ackererde (Stuttgart 1882) 132.

[5]) In Jena wollte man früher mit einem erheblichen Herabwehen feinen Kalkstaubs von den umliegenden Hochebenen rechnen. Nach Mitteilung von Oberförster Dr. J. Busse ist in der Provinz Posen das Überlagertwerden forstlicher Anpflanzungen durch besonders von benachbarten Äckern hergewehten Sand leider keine Seltenheit.

[6]) M. Bräuhäuser, Erl. Geol. Spezialkarte Württembg., Bl. Friedrichshafen-Oberteuringen **179/174**, 107, 109 (1915).

[7]) F. Senft, Fels und Erdboden (München 1876) 364.

[8]) Schon F. Frhr. von Richthofen, a. a. O. 95, sagt: „Dieser Vorgang der Bodenbildung (durch Wind) findet überall statt." Und in seinem Führer für Forschungsreisende (Berlin 1886) 446, erwähnt er: „Der Vorgang des Ansammelns (von Staub) läßt sich allenthalben beobachten." Ferner 450: „Man kann die äolischen Ablagerungen auf jeder Wiese, auf jedem alten Gemäuer und an vielen anderen, vor der Wirkung des fließenden Wassers geschützten Orten erkennen und studieren." Endlich 486: „Wie auf den Höhen alter Sanddünen, so wächst der Boden in den

die Beschaffenheit von Ländereien Einfluß ausüben können.[1]) P. Kossowitsch vertritt die Ansicht, daß die größere oder geringere Schnelligkeit der Erschöpfung der Schwarzerdeböden auch von der Staubzuführung aus der Luft, wie von dem Hinweg- und Hinaustragen von Bodenteilchen durch dieselbe beeinflußt wird.[2]) Nur ist die Beobachtung naturgemäß eine außerordentlich schwierige und eigentlich wohl nur dort bisher mit Erfolg ausgeführt worden, wo Moorboden, also von Natur äußerst mineralarme Flächen, durch Wind mit Mineralstoffen versehen wurden. In diesem Fall wird man ja bei Vorkommen von Mineralstaub in den oberen Schichten naturgemäß auf Windwirkung zurückgreifen, wenn weder Menschenhand noch Wasser in Betracht kommt. So konnte denn auch A. F. Wiegmann[3]) und nach ihm L. Lesquereux,[4]) J. Lorenz,[5]) C. Trommer,[6]) wie A. v. Rosenberg-Lipinsky,[7]) derartige Anschauungen vertreten, und ihre Beobachtungen wurden dann u. a. von P. Vageler bestätigt.[8]) Dieser fand, daß das Hochmoor Karolinenfeld stark „verstaubt" und völlig von Glimmerblättchen durchsetzt war, die vom Südwind aus den Zentralalpen herübergebracht sein mußten, da die angrenzenden Alpenketten keinen oder nur sehr wenig Glimmer führen.[9]) Ähnliche Ansichten vertritt W. Graf zu Leiningen.[10]) Weiter kommt nach H. Paul für die auf Bülten lebenden, nicht mit dem

Wäldern und auf den Wiesen unserer Gegenden durch äolische Zufuhr. Aber seitdem der Pflug durch den Boden zieht, ist die Verteilung ungleichmäßig geworden." Vgl. weiter das Referat von K. Stamm über F. Frees „Movem. soil mater. by wind", (Washington 1911) in: Internat. Mitteil. Bodenk. **3**, 51 (1913), und Geolog. Rundsch. **3**, 360 (1912).

[1]) Vgl. unten auch 447—448, wo besonders die Beobachtungen von S. Passarge hervorgehoben werden.

[2]) P. Kossowitsch, Schwarzerde (Berlin 1912) 136.

[3]) A. F. Wiegmann, Entsteh., Bild. u. Wesen d. Torfs (1837) 22.

[4]) L. Lesquereux, Unters über Torfmoore übers. A. von Lengerke (Berlin 1847) 71, 130 u. 179.

[5]) J. Lorenz, 3. Programm Gymnasiums Salzburg (1853) 18.

[6]) C. Trommer, Bodenkunde (Berlin 1857) 254.

[7]) A. v. Rosenberg-Lipinsky, Praktische Ackerbau **1**, 489 (Breslau 1890).

[8]) Ohne daß dieser allerdings L. Lesquereux' Ansicht gekannt beziehungsweise erwähnt hätte; vgl. Vierteljahrsschrift Bayer. Landw.-Rates **10**, Erg.-Heft zu Heft 2, 1. Beil., 129 (1905).

[9]) Nach W. Graf zu Leiningen kann aber auch die Molasse der Voralpen den Glimmer zum Teil geliefert haben; vgl. Naturw. Zeitschr. Land- u. Forstw. **5**, 19 (1907).

[10]) W. Graf zu Leiningen, ebenda 18; Mittlg. Geolog. Gesellsch. Wien **3/4**, 145 (1915).

Wasser des Hochmoores in Berührung tretenden Torfmoose zur Ernährung einzig und allein der herangewehte Staub in Betracht.[1]) Ja, H. Paul gibt auch, leider ohne weiteren Literaturnachweis, an, daß auf die Bedeutung des atmosphärischen Staubes für die Ernährung vieler Gewächse schon frühzeitig und von mehreren Autoren hingewiesen worden sei. Ich vermag hierzu nur hinzuzufügen, daß allerdings F. Freiherr v. Richthofen[2]) und noch früher C. Sprengel[3]) und J. M. van Bemmelen[4]) ähnliche Angaben gemacht haben, wie mir festzustellen gelang. — W. Götz[5]) vertritt endlich sogar die Anschauung, daß heute dem Winde noch größere Staub- und Feinsandmengen durch die fortschreitende Verwitterung zur Verfügung gestellt würden, als früher.[6]) Wo die Bedingungen für Niederschlag schwebend fortgeführter Bodenteilchen günstig sind, wird es nach ihm fast stets zu lange währender Verstärkung der Windablagerungen kommen. Vielleicht darf im Zusammenhang damit im allgemeinen auf die Ansichten K. Sappers über die Bedeutung der Aufschüttung durch Wind[7]) bei größeren Kontinenten, im Gegensatz zu Insellanden, hingewiesen werden.[8])

So haben wir mannigfache Unterlagen[9]) für die Ansicht, daß die Bewegung feiner Teilchen des Bodens durch den Wind[10]) auch land- bzw. forstwirtschaftlich[11]) nicht ohne Bedeutung ist.[12]) Dabei sei hier

[1]) H. Paul, Mitteil. Bayer. Moorkulturanst. **2**, III, 105 (1908). Vielleicht ist auch das von H. Minssen beobachtete, aber nicht weiter gedeutete Vorkommen großer Mengen feinsten Sandes auf Torfmoosarten, der auch außerordentlich fest haftete, auf Windeinwehung zurückzuführen. Landw. Jahrb. **44**, 289 (1913).

[2]) F. Frhr. von Richthofen, a. a. O. 95.

[3]) C. Sprengel, Bodenkunde, 2. Aufl. (Leipzig 1844) 121.

[4]) J. M. van Bemmelen, Landw. Versuchsstat. **37**, 370 (1890).

[5]) W. Götz, Vierteljahrsschr. Bayer. Landw.-Rates **10**, 407 (1905).

[6]) Eine Ansicht, die meiner Meinung nach noch zu beweisen wäre, da ja nicht die Verwitterung allein maßgebend ist.

[7]) und auch Wasser.

[8]) K. Sapper, Vulkangeb. Mittelamerikas (1905) 223.

[9]) Auch auf die interessanten Beobachtungen von C. Emeis sei hingewiesen; vgl. Allg. Forst- u. Jagdztg., n. F., **78**, 402 (1902).

[10]) Vgl. auch oben 7 u. f.

[11]) Für Vulkanstaub wird besonders der Kaligehalt hervorgehoben, der selten unter 1 % K_2O betragen soll. Freilich wird die Löslichkeit nicht allzu groß sein. Vgl. dazu auch K. Stamm, Intern. Mitteil. Bodenk. **3**, 65 (1913).

[12]) Andererseits sollte man sich aber hüten, den Transport feinster Teilchen durch Wind zu überschätzen, wie dies meiner Ansicht nach durch einige russische Forscher, so Wyssotzky, Pédologie (1899, 1900, 1903); Dimo, Halbwüstenbildung

die Wirkung des Windes auf den Meeressand[1]) und die Dünenbildung, wie auch auf die Verwitterungsgebilde der Wüstengegenden nur eben erwähnt. Doch handelt es sich wohl dabei vielfach mehr um ein Fortgewälztwerden, bzw. einen Transport des Sandes auf kürzere Strecken, der immer wieder erneut einsetzt, weniger um das hier in Frage kommende Aufgewirbeltwerden feinster Bodenteilchen für einigermaßen längere Zeit.[2]) Ebensowenig in Betracht kommt daher die von unseren Meeresküsten bekannte Wirkung des mitgewehten Sandes auf Bäume und Sträucher, obwohl derart fortbewegter Sand sogar bei uns die Steinformen zu beeinflussen[3]) vermag.

Dagegen wird die Lößbildung hier noch wenigstens kurz zu erwähnen sein, da sie einmal für die Entstehung gerade sehr wertvoller, zumeist landwirtschaftlich genutzter Böden eine große Bedeutung besitzt und zweitens ein deutliches Bild davon geben dürfte, wie erheblich die bereits behandelte Staubauflagerung, falls sie einigermaßen stark auftritt, den Erdboden im Laufe langer Zeiten zu verändern vermag.[4]) — Der Löß enthält, wie bekannt, vorwiegend feinen Staubsand, nach A. Halenke, M. Kling und O. Engels so viel, daß die mechanische Schlämmuntersuchung ohne Erfolg blieb.[5])

im Süden d. Tsarizin-Kreises (Saratow 1907), weiter durch Posepny, Sitzg. Ber. Kais. Akad. Wissensch. Wien (1876) und von E. Ramann geschieht. Dieser sagt (Bodenkunde, 3. Aufl. [Berlin 1911] 95): „... Man ist nicht berechtigt, die im Meere enthaltenen Salze als Ausdruck der allmählichen Auslaugung des Landes anzusprechen, wie dies in der Regel geschieht. Viel eher ist es wahrscheinlich, daß die Hauptmenge des im Boden vorhandenen Chlors sowie die Salze der Wüsten- und Steppengebiete dem Meere entstammen und durch Windbewegung fortgeführt worden sind.“ Ähnliche Ansichten ebendort, 376. Besonders die für moderne geologische Anschauungen so wichtigen Arbeiten J. Walthers sind hiergegen anzuführen, z. B.: Gesetz d. Wüstenbildung Gegenw. u. Vorz. (Berlin 1900), und andere. Daß in der Nähe des Meeres oder von mit Salzen bedeckten Böden auch ein Salztransport durch den Wind eine gewisse Bedeutung gewinnen kann, soll dabei natürlich nicht bestritten werden. Vgl. schon A. v. Rosenberg-Lipinsky, 7. Aufl. **1**, 403 (1890); K. Stamm, Internat. Mitteil. f. Bodenkunde **3**, 62 (1913); P. Kossowitsch, Journ. exper. Ldw. **14**, 222 (1913); aber auch F. Schucht, Intern. Mittlg. Bodenk. **2**, 519 (1912).

[1]) Vgl. z. B. F. Schucht, ebendort, 490 (1912).

[2]) Experimentelle Ermittelungen über den Zusammenhang des Verwehtwerdens von Bodenteilchen mit Feuchtigkeit und Windgeschwindigkeit brachte J. A. Hensele, Forsch. Geb. Agrikulturphysik **16**, 363 (1893).

[3]) Z. B. M. Bräuhäuser, Erl. Geol. Spezialkarte Württemberg, Bl. Schramberg **129**, 43 (1909). Ähnliche Vorgänge sind am Heidelberger Schloß beobachtet.

[4]) Hinweise hierauf schon bei M. Virlet d'Aoust, B. S. Géol. **15**, 129 (1858).

[5]) A. Halenke, M. Kling und O. Engels, Vierteljahrsschr. Bayer. Landw. Rates **10**, 452 (1906).

Schon vor Jahren ist durch die umfassenden Studien F. Freiherr v. Richthofens in China, diesem eigentlichen Lande des Löß, festgestellt worden, daß der Löß in seiner vertikalen Verbreitung von der Meereshöhe unabhängig ist.[1]) Dies im Verein mit der Tatsache, daß seit der Bildung des Löß in Nordchina nur geringe Niveauveränderungen stattgefunden haben, führte denn den großen Geographen auch zur Aufstellung der Theorie von der Bildung des Löß durch allmähliche Aufschüttung des vom Wind mitgebrachten Staubes unter Beihilfe der ihn festhaltenden Vegetation.[2]) Er konnte bis 2000 Fuß hohe Lößschichten in China feststellen.[3])

Die Frage der Bildung des Löß, ob durch Wasser oder durch Wind, ist dann lange Zeit hindurch Gegenstand eifriger Auseinandersetzungen der Geologen gewesen,[4]) darf aber heute, nachdem sich eine ganze Anzahl der früheren Gegner zu Freunden der Ansicht von der Windbildung umgewandelt hat,[5]) als entschieden[6]) angesehen werden.[7])

Danach ist unter nicht unerheblich von den heutigen klimatischen Verhältnissen abweichenden Bedingungen[8]) der Löß auch bei uns als Ausblasungsprodukt aus kalkhaltigen Moränen und Sanden entstanden.[9]) Gerade die anders gearteten Witterungs- usw. Bedingungen haben auch

[1]) F. Frhr. von Richthofen, China **1**, 64 (1877).

[2]) Ebenda 95, 188 und an vielen anderen Stellen. Auch F. Frhr. von Richthofen, Führer f. Forsch.-Reis. 441, 444.

[3]) F. Frhr. von Richthofen, China **1**, 59.

[4]) Literatur dazu auch bei F. Wahnschaffe, Zeitschr. Deutsch. Geol. Ges. **38**, 360 (1886); E. Geinitz, Der Löß, Leth. geognost., III, Caenozoic. **2**, 321 (1904), besonders 326. Weiter A. Halenke und Mitarbeiter, Vierteljahrsschr. Bayer. Landw.-Rats **10**, 447 (1906); J. Früh, Vierteljahrsschr. naturforsch. Ges. Zürich **44**, 168 (1899); A. Sauer, Zeitschr. Naturwiss. **62**, 326 (1889); E. Zimmermann, Erst. Ber. Nord-Oberfränkisch. Ver. f. Naturgesch. u. Landesk. (Hof 1896). Vgl. weiter noch P. Kossowitsch, Journ. exp. Ldw. **1**, 401 (1900); ders. in: Die Schwarzerde (Berlin 1912) 43. M. Bräuhäuser, Erl. Geol. Spezialkarte Württemberg, Bl. Schramberg **129**, 78 (1909); C. L. Henning, Intern. Mittlg. Bodenk. **1**, 518 (1911).

[5]) So A. Jentzsch, Schrift. Physikal.-Ökon. Ges. **18**, 168 (1877), und Jahrbuch preuß. Geol. Landesanst. (1884) 522. So F. Wahnschaffe, ebendort, (1889) 338, und Oberflächengestalt. norddeutsch. Flachlandes, 3. Aufl. 234 (1909).

[6]) K. Futterer, Durch Asien (Berlin 1905) **1**, 430.

[7]) Würdigung der neuesten Erfahrungen über die Lößbildung bei G. Merzbacher, Petermanns geogr. Mitteil., Januar-Märzheft (1913).

[8]) Wie u. a. aus Angaben F. Försters hervorgeht, ist Löß in derselben Gegend gelegentlich mehrfach übereinander abgelagert worden; dazwischen liegen zum Teil Schotter; Mitteil. Geolog. Landesanst. Elsaß-Lothringen **5**, 20 (1905).

[9]) F. Wahnschaffe, Oberflächengest. norddeutsch. Flachlandes, 3. Aufl 236 (1909).

dazu beigetragen, ihn uns an vielen Orten mehr oder weniger in seiner Eigenart zu erhalten, während heute, abgesehen von dem nur bedeutend geringere Massen heranschaffenden und daher nicht in erheblichem Maße bodenbildend wirkenden Staubtransport, für große Teile von Rußland und Westeuropa jedenfalls das Klima eine eigentliche Lößbildung in merklichem Umfange nicht mehr ermöglicht,[1] da die häufigen Niederschläge gewisser Jahreszeiten [2] die lockere Staubaufhäufung im Schutze der Vegetation hindern, vielmehr den zugeführten Staub gleich mit dem Boden stärker vereinen dürften oder ihn fortspülen. Wichtiger ist aber wohl noch der Umstand, daß heute besonders die Hand des Menschen, wie auch das feuchtere Klima nur seltener dem Wind Gelegenheit geben, große Staubmengen auszublasen. Wenn überhaupt, so wird dies bei uns in landwirtschaftlich genutzten Gegenden noch am meisten für den Winter gelten, wenn trockener Frost und Sonnenschein sowie geringer Pflanzenwuchs auf dem Felde die Möglichkeit bieten, daß sich erhebliche Mengen lockeren Bodens bilden, den dann der Wind zum Teil fortführen kann; ebenso auch noch mehr für trockenes Frühjahr mit seinen Bestellungsarbeiten.[3] In warmen Gegenden kann die Ausschaltung der Pflanzenwelt durch Trockenzeiten sehr wichtig für die Erfolge der Tätigkeit des Windes sein.[4] — Daß die Fortführung der obersten Schicht unserer Ackerkrume bei Frost auf gewissen Böden (Feinsand- und Moorländereien) direkt eine erhebliche Schädigung der Saaten, deren Wurzeln bloßgelegt werden, herbeiführen kann, ist bekannt.[5] Auch im Sommer ist hier und da solches „Auswehen“ nachteilig und macht sich ganz besonders bei Körnermais bemerkbar, der in Steppengebieten angebaut wird.[6] Besonders kommen, wie gesagt, für solche Schäden noch humose, aber auch feinsandige Böden in Betracht.[7] —

[1]) In China erfolgt nach G. Merzbacher, vgl. a. a. O. 71, eine Lößbildung noch heute; in Turkestan nach K. Glinka, Typen d. Bodenbildg. (1914) 141, nur noch örtliche Staubablagerung. Dagegen führt Wind, Sonne und Schutz durch Graswuchs in warmen Gegenden Mittelamerikas nach K. Sapper, Habilitationsschrift (Leipzig 1910) 8, zu lößähnlichen Bildungen.

[2]) So die des Winters in dem im Sommer staubigen Spanien; vgl. A. Penck, Zeitschr. Ges. Erdkunde **29**, 141 (1894).

[3]) Auch die reine Brache wird in solcher Richtung wirken können. Vgl. auch Internat. Mitteil. Bodenk. **3**, 66 (1913).

[4]) K. Sapper, Habilitationsschrift (Leipzig 1910) 9.

[5]) Vgl. ein von C. Luedecke nach Risler angegebenes Beispiel, Abhandl. hess. Geol. Landesanstalt **3**, 198 (1899).

[6]) F. Schindler, Lehre v. Pflanzenbau (Wien 1896) 241.

[7]) J. N. von Schwerz, Landw. in Westfalen **1**, 139 (1837), erwähnt z. B. derartige Fälle.

Der Winter gibt aber noch ohne besondere Mühe auch öfters für den Praktiker draußen Gelegenheit, die Tatsache solcher Staubbewegung und Staubzufuhr zu beobachten. Wenn nämlich der Schnee bei trockenem Frostwetter lange liegen bleibt, so behält er nicht seine schöne weiße Farbe, sondern überzieht sich, je nach den Umständen, bald mehr bald weniger mit einer sehr leicht bemerkbaren Staubschicht, die der Wind herangebracht hat.[1]) Unter Umständen kann diese recht beträchtlich werden,[2]) ganz besonders im hohen Norden,[3]) und hat dann auch schon öfters die Aufmerksamkeit auf sich gezogen, so für die Schweiz, für Sachsen und Hessen, wie Südtirol,[4]) Salzburg[5]) und zahlreiche andere Gegenden.[6]) Daß so herangewehter Staub auch auf Gletschern, besonders abschmelzenden, eine Rolle spielen und zur Bildung besonderer Bodengebilde führen kann, ist in neuerer Zeit auch erkannt worden.[7])

Übrigens ist auch für besondere Verhältnisse, so für das Pflanzenleben im Gebirge, die Übermittelung von feinem Mineralstaub von Bedeutung, wie besonders W. Graf zu Leiningen hervorhob.[8]) Und da auch für stickstoffhaltige Stoffe ein Windtransport feststeht,[9]) so mag

[1]) Vgl. auch R. Sendtner, nach W. Graf zu Leiningen und diesen selbst: Naturw. Zeitschr. Land- u. Forstw. **5**, 18 (1907); **7**, 20, 22 (1909).

[2]) C. Emeis, Allgem. Forst- u. Jagdztg., n. F., **78**, 403 (1902), führt an, daß an Stellen, die Schneeverwehungen ermöglichen, nach dem Auftauen der Schneemassen sich 1—2 Fuß dicke Feinerdeschichten finden, die mit dem Schnee herangeweht sind. Risler teilte in der franz. Landw. Gesellsch. ein Beispiel vom Genfer See mit, wobei in wenigen Tagen sich auf dem Schnee eine Erdschicht von 5—6 cm Stärke abgelagert hatte. Zit. bei C. Luedecke, Abhandl. hess. Geol. Landesanstalt **3**, 198 (1899).

[3]) Vgl. A. Nehrings Angaben über Schneestaubstürme, die lößartige Ablagerungen auf Island hervorrufen; A. Nehring, Tundren u. Steppen d. Jetzt- u. Vorzeit, 43 (Berlin 1890). Ebenso K. Keilhack, Prometheus **10**, 26, 43 (1899).

[4]) Vgl. Mitteilungen von Albrecht (Sagan) bei J. Früh, Vierteljahrsschr. naturforsch. Ges. Zürich **44**, 187 (1899). A. Sauer und Th. Siegert, Zeitschr. Deutsch. geolog. Ges. **40**, 575 (1888). C. Chelius, Neues Jahrb. f. Mineralogie **1**, 224 (1892).

[5]) J. Lorenz, 3. Programm Gymnasiums Salzburg (1853) 18.

[6]) Vgl. z. B. Meteorol. Zeitschr. **21**, 340 (1904), und die übrigen zahlreichen Angaben über Staubfälle, Staubregen u. dgl. dieser Zeitschrift.

[7]) E. von Drygalski, Grönland-Exped. **1**, 93, 99, 103, 443 (1897). Ferner O. von Linstow, Jahrb. preuß. Geol. Landesanstalt für 1902, 286 (Berlin 1905). F. Etzold, Erläuter. geolog. Spezialkarte Sachsen, Sektion Seehausen-Zschortau, 2. Blatt (1908) 29.

[8]) W. Graf zu Leiningen, Naturw. Zeitschr Land- u. Forstw. **6**, 538 (1908); ebendort, besonders **7**, 20 (1909); **10**, 483 (1912).

[9]) W. Graf zu Leiningen, Naturw. Zeitschr. Land- u. Forstw. **10**, 484 (1912). E. von Drygalski, Grönland-Expedition **1**, 433 (1897).

man bei Aufstellung von Stickstoffbilanzen für Ackerland und Wiese, die sich auf längere Zeit erstrecken, diesem Faktor wohl eine gewisse, bisher fast stets versagte Beachtung[1]) schulden. Auch hier sind wieder die Moore Fundgruben für die Feststellung hinzugetragenen Blütenstaubes,[2]) herangewehter Insektenüberreste u. dgl. Auch Humusbodenteilchen können sehr wohl vom Wind fort- und so auf andere Felder getragen werden[3]) und ebenso Pflanzenreste aller Art, die schon weitgehend zerfallen sind. Bemerkbar wird solche Übertragung natürlich zumeist nur dort, wo Schnee oder Wasserflächen den zugetragenen Staub dem Auge besonders sichtbar machen. Der oberbayerische Bauer sagt daher geradezu: Der Schnee düngt.[4])

Selbstverständlich ist über die Bedeutung dieser „Verstaubung" im Einzelfall nichts Sicheres zu sagen. Während mit Pflanzen bestandener Boden, besonders wohl Wiesenland oder Getreidefelder, auch Wald,[5]) voraussichtlich den Staub festhalten — wie dies ja auch für die Lößbildung angenommen wird, — werden nackt daliegende Bodenflächen eher vom Wind beraubt werden und Verluste erleiden. Daß feuchte Erde den Staub ebenfalls festhält, wurde schon oben mit O. Kellners Worten erwähnt. In gleicher Weise wirkt natürlich durch Salz feucht erhaltener Boden,[6]) und ebenso eine Wasserfläche. Außerdem aber müssen auch viele andere Umstände, so ob ein Feldstück sich windgeschützter Lage erfreut oder ob Waldungen in seiner Nähe liegen, eine gewisse Rolle spielen. Es kann daher hier nur noch darauf hingewiesen werden, daß H. Paul annimmt, es gelangten fürs Jahr und den Quadratmeter etwa 7 g Mineralstoffe durch Verstaubung ins Moor.[7]) Das würden für Jahr und Hektar 70 kg sein, eine immerhin nicht ganz geringe Menge, wenn man bedenkt, daß sie jahraus, jahrein in Frage kommt, und daß es sich um äußerst feine und daher gewiß nicht ganz unerheblich leichter zersetzliche Teile handelt, wenn man sie mit der Gesamtmasse des ge-

[1]) Vgl. aber H. Hofmann, zit. nach W. Graf zu Leiningen, Mittlg. Geolog. Gesellsch. **3/4**, 147 (Wien 1915).

[2]) Vgl. z. B. H. Minssen, Landw. Jahrb. **44**, 273 u. 316 (1913).

[3]) Z. B. J. A. Hensele, Forsch. Geb. Agrikulturphysik **16**, 364 (1893).

[4]) A. Razals, zit. nach Schiller-Tietz, Ldw.-Ztg. Westfal. u. Lippe **57**, 3/4 (1900); W. Graf zu Leiningen, Naturw. Zeitschr. Land- u. Forstw. **7**, 22 (1909); Mittlg. Geolog. Gesellsch. **3/4**, 148 (Wien 1915).

[5]) So schon C. Sprengel, Bodenkunde, 2. Aufl. (Leipzig 1844) 120.

[6]) Z. B. bei J. Walther, Petermanns Mittlg. **62**, 46 (1917); ders. zit. bei Chr. Ohly, Intern. Mittlg. Bodenk. **3**, 419 (1913). Es handelt sich um sog. Takyrboden.

[7]) H. Paul, a. a. O. 107.

wöhnlichen Bodens in Vergleich stellt. Black will für 1902 in Edinburg sogar eine Ablagerungshöhe der vom Wind herangetragenen Staubteile von 4 cm ermittelt haben.[1]) Daß auch durch einmaligen Staubfall größere Gewichtsmengen niedergehen können, beweist eine Graubündener Beobachtung, bei der im Schnee 150 dz Staub auf die deutsche Quadratmeile fielen.[2]) Maßgebend ist natürlich auch hier Klima und geographische Lage. Denn in Mittelasien konnte G. Merzbacher nach einem nur dreitägigen Staubsturm eine 2 cm dicke Staubablagerung beobachten und gibt auch noch ähnliche Erfahrungen an.[3]) In Indiana wurden nach einem Staubsturm 1,5—3,8 g Staub auf den Quadratmeter mit etwa 0,02 Zoll Dicke der Schicht abgelagert und in Australien sogar 17,5 g.[4]) Der große Staubfall vom 9. bis 12. März 1901 brachte schätzungsweise für Italien 1314000 t Staub, für Österreich-Ungarn 375000 t und für Norddeutschland und Dänemark immer noch 92700 t.[5]) Und aus allerdings wohl nur sehr unsicheren Berechnungen[6]) ergibt sich, daß Europa nur durch aus der Sahara stammenden Wüstenstaub in den letzten 3000 Jahren eine Bodenerhöhung von 15 cm erfahren hat. Hiervon würde eine größere Erhöhung auf Südeuropa, eine geringere auf Nordeuropa entfallen. Nach Ch. Darwin[7]) machte Wüstenstaub fast 500 km von der Küste das Meerwasser im Atlantischen Ozean so mißfarben, daß darüber hinfahrende Schiffe eine Spur hinterließen. Übrigens fällt zum Teil ja sogar erdfremder, kosmischer Staub nieder, allerdings in für bodenkundliche Betrachtungen verschwindender Menge.

Doch sei hiermit die Frage des Windeinflusses auf die Bodenkolloide erledigt. Es mag genügen, daß der Nachweis erbracht werden konnte, wie auch scheinbar völlig fernliegende Tatsachen, hier die Verteilung und das Schweben feinster Bodenteilchen in der Luft, sogar landwirtschaftlich eine gewisse Bedeutung gewinnen können. Andererseits ist es zweifellos, daß man solche Staub-Luftverteilungen, soweit sie einigermaßen beständig sind, als Kolloide bezeichnen oder wenigstens im An-

[1]) Zit. nach A. Bencke, Naturwissenschaften (1914) 396.

[2]) Nach J. Hann aus E. Killias, Schweiz. Meteorol. Beobachter (1867) 4.

[3]) G. Merzbacher, Petermanns Geogr. Mitteil. 59, 130 (1913).

[4]) K. Stamm, Internat. Mitteil. Bodenk. 3, 57—58 (1913).

[5]) Vgl. M. Helbig, Forstl. Standortslehre (1913) 221, in Handb. d. Forstwiss. v. Chr. Wagner (Tübingen). Vgl. weiter Chr. Ohly, Intern. Mittlg. Bodenk. 3, 424 (1913).

[6]) K. Stamm, Internat. Mitteil. Bodenk. 3, 61, (1913).

[7]) Ch. Darwin, Quart. Journ. Geol. Soc. London 2, 26 (1846).

schluß an sie erwähnen darf. Dabei sei der Schutz der Vegetation durch Rauch gegen Frost als zu fernliegend nicht einmal herangezogen, obwohl es sich auch bei ihm um Wirkung eines den Kolloiden verwandten Gebildes handelt.

B. Adsorption.

1. Adsorption von Gasen.

a) Theoretische Grundlagen.

Daß zwischen einem festen Stoff und dem ihn umhüllenden Gase an der Oberfläche sich ebenfalls, wie bei der Trennungsfläche flüssig-gasförmig, eine Oberflächenspannung geltend macht, ist nicht zu bezweifeln. Sowohl der größere Dampfdruck[1]) kleinerer Kristalle von Jod, Schwefel u. dgl. im luftverdünnten Raum[2]) wie andere Erscheinungen, so die Verringerung des Schmelzpunktes[3]) fester Körper bei Vermehrung der Oberfläche,[4]) können als Beweis angeführt werden.

Als Folge des Vorhandenseins der Oberflächenspannung an der Oberfläche fest-gasförmig, und zwar als eine sehr deutlich zu beobachtende, ist die Adsorption von Gasen an festen Oberflächen anzusehen.[5]) Ohne damit irgendwie den Anspruch auf eine theoretisch einwandfreie Erklärung zu machen,[6]) glaube ich dies für den Leser folgendermaßen darstellen zu können: Wir haben erfahren, daß die Oberflächenspannung wie ein Gummihäutchen zu wirken strebt,[7]) das die Oberfläche umhüllt und sich zusammenzuziehen sucht. Denken wir nun an das Gas, das an

[1]) Für die etwas ungewohnte Vorstellung, daß auch feste Stoffe verdampfen, und also einen Dampfdruck besitzen, sei außer der Alltagserfahrung des allmählichen Verschwindens von Kampfer in offenen Gefäßen auf die diesbezüglichen Ausführungen von W. Nernst, Theoret. Chemie, 5. Aufl. (Stuttgart 1907) 73, verwiesen.

[2]) Z. B. Wi. Ostwald, Lehrb. allgem. Chemie **2** (3), 89; Grundlin. anorgan. Chemie, 2. Aufl. (Leipzig 1904) 269.

[3]) P. Pawlow, Zeitschr. physik. Chem. **65**, 1, 545 (1909).

[4]) Weiteres vgl. H. Freundlich, Kapillarchemie (Leipzig 1909) 89.

[5]) Vgl. zu diesen theoretischen, schwierigen und hier zu weit abseits führenden Fragen u. a. die oft erwähnten Bücher von H. Freundlich, Kapillarchemie 83 u. 91, Wo. Ostwald, Grundriß d. Kolloidchemie 169; ferner R. Zsigmondy, Kolloidchemie (Leipzig 1912) 60, und die einschlägige physikalische und physikalisch-chemische Literatur. Einige gut einführende Hinweise bei G. J. Mulder, Chemie d. Ackerkrume **1**, 182 (Berlin 1863).

[6]) Hierfür vgl. man etwa, außer H. Freundlichs Kapillarchemie, G. C. Schmidt, Zeitschr. physik. Chem. **74**, 689 (1910).

[7]) Vgl. oben 14 u. f.

einen festen Stoff grenzt, so wird sich auch an seiner, an den festen Stoff grenzenden Oberfläche die Oberflächenspannung zu betätigen suchen, während in entgegengesetzter Richtung das der Gasmasse innewohnende Ausbreitungsbestreben wirkt. So geraten die an der Oberfläche befindlichen Teile des Gases gewissermaßen zwischen zwei gegeneinander wirkende Druckkräfte. Da ferner Gase bekanntlich durch Druck verhältnismäßig leicht verdichtet werden, ganz im Gegensatz zu Flüssigkeiten und festen Stoffen, so wird es naturgemäß an der Oberfläche fest-gasförmig zu Verdichtungen des in Frage kommenden Gases kommen,[1]) zu einer Anhäufung desselben an der Oberfläche des festen Stoffes, zu einer Gasadsorption.

Bekannt ist ja die starke Adsorption von Luft oder anderen Gasen[2]) an der großen Oberfläche frisch ausgeglühter, poröser Holzkohle, die man zur Verhinderung sofortiger Gasadsorption unter Quecksilber erkalten läßt und dann in einen abgesperrten Luftraum bringt. Sofort steigt die Sperrflüssigkeit — als die man zweckmäßig natürlich das gleiche Quecksilber benutzt, in dem man die glühende Kohle abkühlte — wegen der Adsorption der Luft durch die Kohle empor.[3])

Daß einmal die Größe der Gasadsorption von der Größe der Oberfläche des festen Körpers abhängt, geht aus der soeben gegebenen Erklärung ohne weiteres hervor. Denn die Größe der Oberfläche des festen Körpers bestimmt ja auch die Größe der Oberfläche des an ihn grenzenden Gases. Und ebenso liegt es auf der Hand, daß die Gase, je nachdem sie sich leicht oder schwer zusammenpressen lassen, auch stärker oder schwächer adsorbiert werden. Denn die wirkenden Druckkräfte werden bei gleicher Temperatur und gleicher Menge des adsorbierenden festen Stoffes wie des Gases die gleichen sein, wogegen nun jedes Gas in anderer Weise diesem Druck nachgeben wird. Kann derselbe das eine Gas doppelt

[1]) Daß Gase, die adsorbiert sind, auch Verdichtungserscheinungen zeigen, beweist u. a. R. Zsigmondy nach J. M. van Bemmelen für das Gel der Kieselsäure; Kolloidchemie (1912) 163.

[2]) Die ältere Literatur zur Gasadsorption findet sich ziemlich genau bei G. Ammon, Forsch. Geb. Agrikulturchemie **2**, 1 (1879), und A. von Dobeneck, ebendort **15**, 174 (1892). Weitere Literatur u. a. bei Wi. Ostwald, Lehrb. allgem. Chemie, 1. Aufl. **1**, 778 (1885); P. Chappuis, Ann. Phys. u. Chem. **8**, 1 (1879); F. Mülfarth, ebendort [4] **3**, 328 (1900). Neuere Literatur noch bei H. Freundlich, Kapillarchemie (Leipzig 1909) 91; A. Titoff, Zeitschr. physik. Chem. **74**, 641 (1910). Ebendort 129, Arbeit von J. Homfray.

[3]) J. Dewar hat diese äußerst starke Adsorptionsfähigkeit von Kohle benutzt, um eine anderweit nicht erzielbare Luftverdünnung zu erreichen, Proc. Roy. Soc. **74**, 122, 127 (1904). — Merkbare Luftadsorption durch sehr feines Goldpulver bei R. Zsigmondy, Liebigs Ann. d. Chem. u. Phys. **301**, 43 (1898).

so stark zusammendrücken wie das andere, so wird es auch doppelt so stark adsorbiert werden. Für beide Behauptungen ist übrigens auch der Beweis durch den Versuch geliefert worden. P. Chappuis[1]) zeigte, daß fein gepulverte Kohle, deren Oberfläche demnach vergrößert worden war, mehr Gas aufnehmen kann, als grobe Kohlenstückchen. Ebenso brachten G. Ammon[2]) und A. v. Dobeneck[3]) dafür experimentelles Material, und zwar mit Erdboden bzw. Bodenbestandteilen, desgleichen H. Puchner.[4]) Und bei L. Joulin,[5]) P. Chappuis[6]) und F. Mülfarth[7]) findet sich für verschiedene feste Stoffe der Beweis der Adsorption von Gasen entsprechend ihrer Verdichtbarkeit.[8])

Von den für unseren Ackerboden wesentlich in Frage kommenden Gasen muß demnach Stickstoff recht wenig, etwas mehr Sauerstoff, wesentlich stärker aber Kohlendioxyd, noch mehr Ammoniak, und endlich am stärksten Wasserdampf adsorbiert werden.

Nun sind natürlich diese Gase in unserer Luft niemals einzeln vorhanden, sondern zumeist kommen sie im Gemenge, und zwar sämtlich, in Betracht, allerdings in sehr verschiedener Konzentration. Da ist es von Wichtigkeit, daß aus Gasgemischen zwar sämtliche darin enthaltenen Gase adsorbiert werden dürften, aber das stärker verdichtbare wesentlich stärker.[9]) Außerdem vollzieht sich bei Gemischen die Adsorption und besonders die Erreichung des Gleichgewichtszustandes viel langsamer, soweit man bislang darüber unterrichtet ist.[10])

b) Unbenetzbarkeit von Böden.

Diese Verhältnisse werden für Betrachtung der für die Bodenkunde wichtigen Erscheinungen, auf die nun einzugehen ist, wohl im Auge zu behalten sein.

---

[1]) P. Chappuis, Ann. d. Phys. **12**, 163 (1881). Vgl. aber J. Homfray, Zeitschr. physik. Chem. **74**, 129 (1910). Hierzu auch R. Zsigmondy, Kolloidchemie (1912) 163.

[2]) G. Ammon, Forsch. Geb. Agrikulturphysik **2**, 27 (1879); ebenso 29, 30.

[3]) A. von Dobeneck, ebenda **15**, 196, 201 (1892).

[4]) H. Puchner, ebenda **19**, 17 (1896).

[5]) L. Joulin, Ann. Chim. Phys. (5) **22**, 398 (1881).

[6]) P. Chappuis, Ann. d. Phys. **8**, 1 (1879); **12**, 161 (1881); **19**, 21 (1883).

[7]) F. Mülfarth, ebenda **3**, 328 (1900).

[8]) Vgl. die Zusammenstellung bei H. Freundlich, Kapillarchemie (Leipzig 1909) 96.

[9]) L. Joulin, a. a. O.; vgl. auch H. Freundlich, Kapillarchemie (Leipzig 1909) 99. Es wurde z. B. aus einem Gemisch gleicher Teile Wasserstoff und Kohlendioxyd dem Volum nach zehnmal so viel Kohlendioxyd adsorbiert wie Wasserstoff.

[10]) Ebendort.

Das allzuweit gehende Lockern der Ackerkrume, das bis zum Pulvern derselben gelangt und sogar tiefere Schichten des Bodens in einen staubigen Zustand überführt, ist bereits von A. von Rosenberg-Lipinski scharf getadelt worden,[1]) der auch neben dem Zusammenfließen bei starken Niederschlägen die schwere Benetzbarkeit so behandelten Landes durch Regen hervorhob. Vielfach hat dieser letzte Umstand weniger Beachtung in der Literatur gefunden, wenn von den schädlichen Folgen eines Pulverisierens der Ackerkrume die Rede ist.[2]) Und doch hat die Praxis direkt das Wort „Toteggen" für die zu weitgehende Pulverung des Ackers erfunden, um zu kennzeichnen, daß der Boden zu stark ausgetrocknet ist und Wasser nur schwer annimmt, so daß die Saat kein günstiges Keimbett findet. Während hier demnach ein Eingreifen des Menschen in Betracht zu ziehen und daher die weitere Betrachtung dieser Umstände auf einen späteren Abschnitt zu verschieben ist, kommt doch auch anderweit eine derartige schwere Benetzbarkeit staubartig feinen Bodens ohne menschliches Zutun vor. Schon beim gewöhnlichen Landstraßenstaub kann man beobachten, daß er von den ersten Regentropfen nicht benetzt wird, sondern daß dieselben kugelförmig auf dem Staube liegenbleiben und über ihn hinwegrollen.[3]) Ähnliches kann man aber auch auf eigentlichen land- oder forstwirtschaftlich genutzten Böden beobachten. So sind typische Feinsand- oder Staubböden sehr wenig für Wasser aufnahmefähig, wenn sie, wie häufig, recht locker, „schüttig" lagern.[4]) Dafür liegen, abgesehen von Deutschland, auch aus Amerika Angaben vor.[5]) Weiter wirkt z. B. Frost auf manche Torfböden derart, daß er die Bildung von sog. „Staubhumus" bedingt, einer schwer von Wasser benetzbaren Humusart.[6]) Ähnliche Folgen hat unter Um-

[1]) A. von Rosenberg-Lipinski, praktische Ackerbau **1**, 419, 421 (Breslau 1890); **2**, 191/2 (1879); er sieht sogar den Übergang des Landes in solchen Zustand als Grund für das Einschieben von Schwarzbrache an.

[2]) Z. B. W. Schumacher, Ackerbau (Wien 1874) 121, 125, 129; O. Pitsch, Theorie d. Bodenbearb. (Dresden 1884) 88, 114.

[3]) Für den Leser, der noch nicht selbst diese Erfahrung gemacht hat, sei verwiesen auf: A. v. Rosenberg-Lipinsky, praktische Ackerbau **2**, 192 (Breslau 1890). H. Puchner, Forsch. Geb. Agrikulturphysik **19**, 18 (1896); M. Fleischer in Ch. A. Vogler, Grundlehr. Kulturtechnik **1** (1), 141 (Berlin 1909). E. Ramann, Bodenkunde, 3. Aufl. (Berlin 1911) 344, 345, gibt an, daß die durchfeuchtete Schicht im Straßenstaub nach Gewittern nicht selten ganz dünn ist.

[4]) W. Schumacher, Physik in Bedeut. f. Agrikultur Pflanzenphys. **1**, 502 (1864).

[5]) E. W. Hilgard, Soils (Neuyork 1906) 105.

[6]) F. Schubert, Forstchemie (1848) 547.

ständen große Hitze.[1]) Und auch auf humosen Ackerböden kommt es durch Frost und an ihn anschließende Austrocknung zu solcher Pulverbildung,[2]) die dann, auch ohne daß der Mensch sich mit seinen Werkzeugen betätigte, Erscheinungen bedingt, wie H. Grebe sie beobachten konnte, der nach einem Regentag nur 1,3% Wasser in einem Staubhumus feststellte.[3]) Oder wie E. Ramann sie schildert: daß man auf schwach humosen Sandböden oft noch viele Stunden nach dem Regen in Vertiefungen Wasser angesammelt finde, den darunter liegenden Boden aber noch staubtrocken; ähnliche Erfahrungen könne man mit feinpulverigen Torfböden machen.[4]) Über diese finden wir bei C. von Seelhorst folgende Mitteilung: „Das zu starke Austrocknen des Moores ist sehr schädlich. Ein an der Oberfläche ganz ausgetrocknetes Moor nimmt an derselben mit der Zeit leicht eine staubige Beschaffenheit an, und ist dann dem Wind eine Beute. Die mit Recht so gefürchteten Mull- oder Moorwehen, bei welchen der Moorstaub vom Wind in die Höhe gehoben und fortgetragen wird, sind häufig eine Folge der Austrocknung, besonders dann, wenn sie von Moorbränden gefolgt war. Ein ganz ausgetrocknetes Moor, sowohl das pulverige, wie auch das, welches die alte Struktur noch aufweist, läßt das Wasser nur sehr schwer eindringen."[5]) Also auch hier die schwere Benetzbarkeit, das schwierige Eindringen von Wasser. Was ist nun die Ursache?

Die ursprüngliche und auch heute noch ziemlich verbreitete Anschauung ging dahin, daß die ausgetrockneten Torf- bzw. Humusteilchen mit einem Harzüberzug versehen seien, welcher der Aufnahme des Wassers durch dieselben hinderlich sei. Zuerst vielleicht von J. Lorenz geäußert,[6])

[1]) J. N. von Schwerz, Landw. in Westfalen **1**, 188 (1837); ebenso H. Grebe, vgl. später. Gleichfalls zu weit getriebenes Brennen; W. Bersch Handb. Moorkultur (Wien 1909) 165.

[2]) J. N. von Schwerz, Landw. in Westfalen **1**, 139 (1837). Ferner zeigt sich Derartiges in dem saueren Humusboden des „Eschlandes" in Nordhannover.

[3]) H. Grebe, Zeitschr. Forst- u. Jagdwes. **19**, 158 (1887).

[4]) E. Ramann, Bodenkunde, 3. Aufl. (Berlin 1911) 345.

[5]) C. von Seelhorst, Handb. Moorkultur, 2. Aufl. (Berlin 1914) 38.

[6]) E. Wollny zitiert J. Lorenz wenigstens in diesem Sinne; vgl. Zersetz. organ. Stoffe (Heidelberg 1897) 249 Anmerk. 1. In den beiden von ihm angeführten Arbeiten von J. Lorenz habe ich aber zwar die Angabe finden können, daß Torf je nach den Umständen mehr oder weniger harz- und wachsartige Stoffe enthält, jedoch nichts von der Bildung von Harzüberzügen um ausgetrocknete Torfteilchen. Vgl. J. Lorenz, 3. Programm Gymnasiums Salzburg (1853), und Flora **41**, 209, 294, 297—298 (1858). Wenn also kein Irrtum von E. Wollny vorliegt, muß J. Lorenz in einer anderen Veröffentlichung von solchen Harzüber-

wurde diese Ansicht dann von H. Grebe weiter vertreten.[1]) Auch E. Wollny sah noch in der „Nichtbenetzbarkeit" die Folge des Harzüberzuges der ausgetrockneten Torfteilchen,[2]) ohne indes anzugeben, wie man sich den Vorgang der Bildung dieses Überzugs näher vorzustellen habe. Vielleicht ging er auch auf Anschauungen A. F. Wiegmanns[3]) zurück, die mir als die ältesten in dieser Richtung und als Grundlage der Ansichten von den Harzüberzügen erscheinen. Der letztgenannte Forscher glaubte nämlich, daß durch Frost — der ja bekanntlich auf Bildung von Staubhumus hinwirkt — die Humussäure ihres Wassers beraubt und in „Erdharz" enthaltenden Humus verändert würde.[4]) Heutigen chemischen Anschauungen dürfte die Bildung von „Erdharz" durch Frost aus Torfsubstanz denn doch, trotz unserer Unkenntnis auf dem Gebiete der chemischen Zusammensetzung des Humus, nicht mehr geläufig sein. So hat denn schon H. Puchner[5]) und nach ihm auch M. Fleischer[6]) die Vermutung von der Bildung eines Harzüberzugs verlassen, und der letztere die eigentümliche Erscheinung zum Teil auf den Widerstand zurückgeführt, den die trockenen Bodenteilchen, namentlich ausgetrocknete humose Stoffe, ihrer Benetzung mit Wasser entgegensetzen, zum anderen Teil auf die Hemmung durch in die Kapillarräume eingedrungene Luft. Eine Erklärung, der auch ich zustimmen muß, nur daß sie vielleicht etwas schärfer zu fassen und nach neueren Gesichtspunkten darzustellen ist. Bevor indes hierzu übergegangen werden kann, muß noch der Vollständigkeit halber erwähnt werden, daß E. Ramann auch noch in neuester Zeit an der überwiegenden Bedeutung der harz- und wachsartigen Stoffe für diesen Benetzungswiderstand ausgetrockneter Böden festhalten zu müssen glaubt. „Einmal ausgetrocknet überziehen diese unbenetzbaren Stoffe wohl die Bodenteilchen und setzen ihrer Durchfeuchtung starken Wider-

zügen gesprochen haben, von der mir freilich nichts bekannt ist. C. Sprengel, der schon kohlig-harzigen Humus unterscheidet, geht mit keinem Wort auf Bildung von Harzüberzügen beim Austrocknen ein. Vgl. Bodenkunde (1837) 228.

[1]) H. Grebe, Zeitschr. Forst- u. Jagdw. **19**, 158 (1887). H. Grebe liefert zwar Experimentaluntersuchungen, aber keine wirklichen Beweise.

[2]) E. Wollny, Zersetz. organ. Stoffe (Heidelberg 1897) 249.

[3]) den er wenigstens einmal anführt.

[4]) A. F. Wiegmann Entstehung, Bild. u. Wesen d. Torfs (Braunschweig 1837) 58; C. Sprengel gibt über das „Wachsharz" in Torf und humoser Erde an, daß es kein Produkt der Verwesung sei, sondern schon gebildet in den Pflanzen vorkam, aus denen der Torf entstand. Vgl. Bodenkunde, 2. Aufl. (Leipzig 1844) 108, 110.

[5]) H. Puchner, Forsch. Geb. Agrikulturphysik **19**, 11 (1896).

[6]) M. Fleischer, in Ch. A. Vogler, Grundlehr. d. Kulturtechnik **1** (1), 141 (Berlin 1909).

stand entgegen." [1]) — Wie ein solches „Überziehen" der Bodenteilchen nach ihrem Austrocknen durch im Boden vorhandene Wachs- oder Harzmengen stattfinden soll, wird leider nicht angegeben und erscheint ziemlich wenig einleuchtend. Wir können demnach dieser Ansicht keine Beweiskraft zuerkennen, bis nicht der Versuch gemacht wird, den Vorgang überzeugend zu erklären.

Es dürften aber die beiden, von M. Fleischer angeführten Gründe auch völlig ausreichen, um die Frage für uns zu lösen.

aa) Adsorption von Luft.

Zunächst wird an weitgehend ausgetrockneten Bodenteilchen der Adsorptionsvorgang bedeutungsvoll sein, worauf schon H. Puchner [2]) in gewissem Maße hinwies. — Bedenkt man, daß unser Ackerboden bei direkter Sonnenbestrahlung recht warm werden kann, [3]) daß aber mit der Temperatursteigerung auch die Adsorption von Gasen sich verringert, so erhellt daraus, daß es nicht nur zu einem einfachen Lufttrockenwerden des Erdbodens kommen wird. Leicht werden auch die etwa vorher adsorbierten Gase, darunter nicht zum wenigsten gasförmiger Wasserdampf, unter dem Einfluß der Sonnenstrahlen in größerem oder geringerem Umfange durch die Hitze beseitigt werden. Das genügt aber zumeist noch nicht, um die besprochene Erscheinung herbeizuführen. Der Boden muß weitgehend in seine Einzelteilchen zerfallen sein, sonst bleibt in den Krümeln noch Feuchtigkeit zurück, und auch die in Betracht kommende Oberfläche ist zu gering. Diese erforderliche Zerkleinerung [4]) bewirken auf der Landstraße die Hufe der Zügtiere und die Räder der Gefährte, auf dem Acker die Egge, über die ja erst weiter unten zu sprechen sein wird, auch schlechte Pflüge, [5]) Ruhrhaken und dergleichen, sowie unter besonderen Umständen Winterfrost und Luftbewegung, wohl auch noch

[1]) E. Ramann, Bodenkunde, 3. Aufl. (Berlin 1911) 345. Ganz ähnlich H. Devaux, Compt. rend. **162**, 197 (1916): „l'existence à peu près générale d'un enduit antimouillant sur les particules de la plupart des sols est donc un fait démontré."

[2]) H. Puchner, Forsch. Geb. Agrikulturphysik **19**, 11 u. 12 (1896).

[3]) P. Treitz fand in den obersten 3 cm von Flugsand, allerdings in Ungarn, im Juli Temperaturen bis 50° und mehr. Jahrb. ungar. geolog. Anstalt (1900) 106.

[4]) E. Conrad weist auf den Einfluß der bei feinerer Mahlung den Teilchen anhaftenden Luft für die Glasschmelzung hin. Anderer Ansicht ist C. Tostmann. Beide in Keram. Rundschau **23**, 179/180 (1915).

[5]) A. Blomeyer, Mechan. Bearb. d. Bodens (Leipzig 1879) 81.

dazu Sonnenschein.[1]) In der Wildnis endlich können die Füße wilder Tiere in Betracht kommen.[2])

Nehmen wir aber nun an, daß die oberen Bodenschichten in einzelne Staubteilchen zerfallen seien, die bei bewegter, weitgehend trockener Luft durch Sonnenschein stark erhitzt werden; so wird die Menge der adsorbierten Gase, einschließlich des Wasserdampfes, erheblich sinken. Vermindert sich später die Wärme wieder, so muß demgemäß die Adsorption von neuem zunehmen. Mit Vorübergehen der stärksten Erhitzung adsorbiert demnach die Menge der feinen Bodenteilchen wieder. Aber die Luft war, wie wir annahmen, weitgehend trocken, ihre Neigung, Wasserdampf zur Adsorption abzugeben, ist demnach gering. Immerhin wird aus dem zur Adsorption voraussichtlich verfügbaren Gemisch von rund 787379 ccm Stickstoff oder 934,5 g, 209291 ccm Sauerstoff oder 283,4 g und 3330 ccm Wasserdampf oder 2,54 g für das Kubikmeter[3]) der Wasserdampf seiner wesentlich stärkeren Adsorbierbarkeit halber nicht ganz unerheblich aufgenommen werden können. In welchem Maße dies gegenüber den beiden anderen Gasen geschieht, ist leider nur auf Grund unsicherer Analogieschlüsse zu sagen. Denn experimentelle Prüfungen der Frage, wie stark bei Adsorption von Gasgemischen die in Frage kommenden Gasmengen in der Raumeinheit oder, wohl besser gesagt, die Gaskonzentrationen eine Rolle spielen, sind mir leider nicht bekannt.[4]) Nach den Verhältnissen bei der Adsorption in Flüssigkeiten ist aber durchaus wahrscheinlich, daß auch bei Adsorption von Gasgemischen die Konzentrationen eine erhebliche Bedeutung besitzen.[5]) Für Flüssigkeiten zieht H. Freundlich nämlich den

---

[1]) Vgl. für die Egge Seite 247 Mitte; weiter noch besonders H. Grebe, Zeitschr. Forst- u. Jagdwes. **19**, 159 (1887).

[2]) Vgl. P. Vageler, Beihefte z. Tropenpflanzer, **11**, Nr. 4/5, (1910), Sonderdruck: Mkattaebene, 130. Weiter später das über die Wirkung der Tiere auf die Bodenkolloide Gesagte.

[3]) Unter der Annahme berechnet, daß von dem bei 15° 12,7 g Wasser betragenden Gehalt eines wassergesättigten Kubikmeters Luft nur 20% in der Luft vorhanden sind, also 2,54 g. Da 1 g Wasserdampf bei 0° und 76 cm Druck den Raum von 1243 ccm einnimmt, so wird es bei 15° und 76 cm Druck 1311 ccm einnehmen, 2,54 g demnach 3330 ccm. Der Kubikmeter Luft enthält dann ungefähr noch 209291 ccm Sauerstoff und 787379 ccm Stickstoff. Auch ein doppelter Wassergehalt der Luft würde die enormen Konzentrationsunterschiede wohl nicht maßgebend verändern.

[4]) Allenfalls vergleiche man die in der nächsten Anmerkung angeführte Arbeit.

[5]) Daß die Gaskonzentrationen für die Adsorption der Gase von Bedeutung sind, beweisen Angaben von J. Homfray, Zeitschr. physik. Chem. **74**, 190 (1910). Doch dürften diese Untersuchungen hier nur sehr bedingt herangezogen

Schluß,[1]) daß „im Fall die Konzentration der beiden Stoffe, die für die Adsorption in Frage kommen, sehr verschieden ist, der mit der größeren Konzentration — selbst wenn er spezifisch weniger adsorbiert wird — an der Oberfläche stark überwiegen wird" So dürfen wir wohl annehmen, daß nun von den feinen Bodenteilchen — wieder werden es vorwiegend die eigentlichen Bodenkolloide und die noch zu ihnen zu rechnenden allerfeinsten Sande sein — zwar auch etwas Wasserdampf adsorbiert wird, aber ebenso nicht unerheblich Luft, und zwar Sauerstoff mehr als Stickstoff. Die Bodenteilchen umgeben sich so jedes für sich mit einer Hülle verdichteten Gases. Das muß ihre Lagerung aufeinander noch lockerer gestalten,[2]) wie W. Spring dies in interessanten, leider wenig bekannten Versuchen bewiesen hat. Er konnte beim Niederfallen von Sand in Luft eine Höhe der sich lagernden Sandmenge von 240 mm feststellen. Ließ er aber den Sand im luftleeren Raum niederfallen, so hatte die Schicht 20% ihrer Höhe verloren und zeigte 192 mm Höhe. Selbst durch häufiges Aufstoßen des Gefäßes beim ersten Versuch vermochte er der Lage-

werden können, da nur Gemische einander recht ähnlich sich verhaltender Gase untersucht wurden. Immerhin sind diese Angaben für den oben geführten Analogieschluß günstig.

[1]) H. Freundlich, Kapillarchemie (Leipzig 1909) 165.

[2]) Daß diesen Umständen auch für die Lößbildung Gewicht beizulegen ist, beweist die Erfahrung, daß frischer Löß „schütt" gelagert ist. Die einzelnen Teilchen sind mit einer gewissen Raumverschwendung aufeinander aufgebaut. Diese eigentümliche lockere Beschaffenheit des Löß wird indes durch die mit der Kultur verbundene Bearbeitung zerstört, und so kommt hier die sonderbare Erscheinung zustande, daß die Ackerkrume durch Bearbeitung dichter und dadurch wasserhaltender wird, als der unbearbeitete und daher lockerer gelagerte Untergrund. Vgl. R. Sachsse, Erläuter. geolog. Spezialkarte Sachsen, Sektion Lommatzsch-Leuben, Blatt 47, Anhang (1892) 22. Ganz entsprechend berichtet K. Glinka, Typen d. Bodenbildg., 123, (1914 Berlin): Beim Ackern der Schwarzerde verschwindet die Struktur, die oberen Schichten werden staubig, ihre Kapillarität nimmt zu, sie werden aber bedeutend weniger wasserdurchlässig. Es dürfte allerdings bei der soeben angeführten Beobachtung noch an manche andere Ursache zu denken sein, so an die Entkalkung der oberen Lößschichten, welche zur Zerstörung der lockeren, krümeligen Lagerung beiträgt (vgl. unten) und u. a. von A. Halenke. M. Kling und O. Engels festgestellt wurde, Vierteljahrsschr. Bayer. Landw.-Rates 10, 447 bes. 451 (1906). Daß auch durch Pflanzenwuchs, zwischen den der Löß eingelagert wurde, ein wesentlicher Grund für seine lockere Beschaffenheit gegeben ist, soll natürlich nicht geleugnet werden, doch neben ihm auf die Gasadsorption hingewiesen sein. Die Bedeutung der letzten wird noch durch das Auftreten von einer Art Luft-Triebsand in Rußland hervorgehoben, über den weiter unten Seite 259 sich nähere Angaben finden.

rung im luftleeren Raum nur bis auf 4% nahezukommen.[1]) Die Höhe der Bodenschicht blieb 200 mm.[2]) Sobald aber durch Erwärmen die adsorbierte Luftschicht beseitigt wurde, erreichte die Sandschicht auch die im luftleeren Raum sich ergebende Höhe.[3]) — Die Folge der wegen der Gasadsorption lockeren Lagerung der Bodenteilchen ist dann ein leichteres Mitgeführtwerden vom Winde,[4]) ein leichteres Verstauben, wie man es ja auch gerade von dem schwer benetzbaren Staube kennt.[5]) H. Grebe führt ja denn auch die lockere, staubartige Lage und das leichte Verwehtwerden vom Winde als bezeichnende Eigenschaft der „Stauberde" an.[6])

Hier fesselt uns aber zunächst die Frage der „Unbenetzbarkeit" solcher Staubarten.[7]) Dafür ergibt sich nach dem Angeführten die eine Erklärung von selbst. Die Gashülle, welche durch Adsorption von Luft um jedes einzelne kleinste Staubteilchen geschaffen ist, wirkt wie eine die Benetzung verhindernde Umhüllung.[8]) Wir wissen ja aus der Tierkunde, daß sich gewisse, im Wasser auf Beute ausgehende Spinnen eine Art von Taucherglocke spinnen, die ihnen auch im Wasser die nötige Atemluft mitführt. Die eng aneinanderliegenden Fäden des Gespinstes werden der an ihnen adsorbierten Luftschichten halber für Wasser unbenetzbar und wirken daher als wasserdichte Hülle. Ganz in gleicher Weise trägt

[1]) Daß sich adsorbierte Gasschichten durch Druck nicht völlig, wohl aber zum Teil beseitigen lassen, hat, ganz diesen Versuchen W. Springs entsprechend, W. Voigt schon 1883 festgestellt. Ann. Phys. u. Chem. **255**, n. F., **19**, 42—43 (1883).

[2]) W. Spring arbeitete mit Sandkörnern von ungefähr 5—10 μ Durchmesser. Bei noch feineren Teilchen würde die Wirkung der Luftadsorptionsschicht natürlich noch deutlicher gewesen sein. Daß die Adsorption z. B. von Wasserdampf von der Kleinheit der Bodenteilchen, entsprechend der damit wachsenden Oberfläche, abhängt, wies schon G. Ammon, Forschung a. d. Gebiete d. Agrikulturphys. **2**, 28 (1879) nach. Vgl. E. Wollny, ebenda, **8**, 343 (1885); H. Puchner, ebenda, **19**, 15 (1896); W. Bagger, Inauguraldissertation Königsberg, 32/33 (1902).

[3]) W. Spring, Bull. Soc. Belg. Géol. **17**, Mémoires 23 (1903).

[4]) C. Breymann, Prager landw. Wochenbl. **11**, 440 (1880), erwähnt derartiges im Anschluß an trockenen Frost und ausdörrende Winde.

[5]) J. N. von Schwerz, Landw. in Westfalen **1**, 139 (1837); E. W. Hilgard, Soils (Neuyork 1906) 9.

[6]) H. Grebe, Zeitschr. Forst- u. Jagdw. **19**, 159 (1887).

[7]) Für sie gibt auch noch W. Schumacher, Physik in Anwend. Agrikultur Pflanzenphys. **1**, 94 (Berlin 1864), Beispiele.

[8]) Hinweise hierauf für Waldhumus schon bei W. Riegler, Forsch. Geb. Agrikulturphysik **3**, 94 (1880).

jedes Bodenteilchen, das stark Luft adsorbiert hat,[1]) eine wenigstens für gewisse Zeit wasserdichte Hülle aus verdichteter Luft, und die Gesamtheit von solchen luftumgebenen Staubteilen, deren Lufthüllen dicht aneinander grenzen und wohl auch ineinander übergehen, muß demnach zunächst eine wasserundurchlässige Schicht bilden.

H. Puchner war es, der ganz besonders deutlich diese hier vorliegenden Verhältnisse gekennzeichnet hat. Er wies darauf hin, daß die Unbenetzbarkeit „von den Lufthüllen herrührt, welche die kleinsten Bodenteilchen umhüllen, und sie zunächst für die Adhäsion mit Wasser untauglich machen".[2]) Er ermittelte weiter, daß die Korngröße eines Pulvers in Beziehung zu dem ihm eigenen Grade der Unbenetzbarkeit steht, und daß auch z. B. Kaolin, der zweifellos wohl keine Harzüberzüge besitzen dürfte, gleichfalls eine gewisse Unbenetzbarkeit aufweist. — Trotzdem schien das vorliegende Gebiet noch weiterer Bearbeitung bedürftig, da W. Spring für die Unbenetzbarkeit von Rußteilchen neuerdings das Vorhandensein von Öl- und Harzüberzügen angeführt hatte,[3]) und hiernach Rückschlüsse für Humusteilchen nur zu nahe zu liegen schienen. Es konnte dann aber von P. Ehrenberg und K. Schultze in eingehender Prüfung dargelegt werden, daß es bei Kienruß, wie bei Torf, Erde und dergleichen wesentlich die Adsorption der Luft ist, welche Schwierigkeiten bei der Benetzung, wie man meist sagt, die „Unbenetzbarkeit", herbeiführt.[4]) So zum Beispiel konnte Torfpulver durch bloßes Pressen mit Leichtigkeit für Wasser benetzbar gemacht werden, während nach Zerkleinerung und erneutem Austrocknen die Unbenetzbarkeit wiederkehrte.[5]) Übrigens hat schon A. Stellwaag festgestellt, daß die „Unbenetzbarkeit" von Torf trotz Ausziehen desselben mit Alkohol und Äther bestehen blieb,[6]) was wohl auch deutlich gegen die Theorie der Harz- und Wachsüberzüge spricht.

Die Wirkung solcher Gashüllen ist übrigens auch anderweit nach-

[1]) W. Spring sagt am angeführten Ort 24: „On peut donc regarder comme prouvé, que l'air forme autour des grains de sable une enveloppe dont l'épaisseur est très sensible, et que la solidité de cette enveloppe est d'autant plus grande que son épaisseur est plus petite."

[2]) H. Puchner, Forsch. Geb. Agrikulturphysik **19**, 18 (1896).

[3]) W. Spring, Koll.-Zeitschr. **4**, 159, 164 (1909).

[4]) P. Ehrenberg u. K. Schultze, Koll.-Zeitschr. **15**, 183 u. f., (1914).

[5]) A. a. O. 185.

[6]) A. Stellwaag, Forsch. Geb. Agrikulturphysik **5**, 216 (1882).

gewiesen,[1]) sogar bei Regentropfen,[2]) und spielt vielleicht für die Tatsache, daß durchaus nicht jede Wolke nun auch Regen entsendet, eine nicht unerhebliche Rolle,[3]) indem die von den schwebenden Tröpfchen adsorbierte Luftschicht ihr Zusammenfließen hindert,[4]) solange nicht irgendeine andere, voraussichtlich meist elektrische Kraft, diesen Widerstand überwindet.[5])

Selbstverständlich kann aber die Dauer der schützenden Wirkung solcher Gashüllen nur eine begrenzte sein.[6]) Im Laufe der Zeit wird aus der bei Regen sich auf solchem „unbenetzbaren" Boden bildenden feuchten Schicht Wasserdampf in die Luft und auch in die die Körner umgebenden Gasräume diffundieren und allmählich unter Verdrängung eines Teils der adsorbierten Luft von den Bodenteilchen selbst adsorbiert werden.[7]) Ist immer weiter reichlich Wasserdampf in der umgebenden Luft vorhanden, so kommt es wohl völlig oder wenigstens wesentlich zu einer Beseitigung der Gashüllen auf diesem Wege, und der Staub benetzt sich nun. So ist es zu erklären, daß zum Beispiel M. Fleischer darauf hinweisen kann, daß heftige, in kurzer Zeit niedergehende Platzregen auf solchem Staub abfließen, ohne dem Boden zugute zu kommen, während weit geringere Regenmengen, die sich über einen längeren Zeitraum ver-

---

[1]) Vgl. W. Voigt, a. a. O. 40 ff., der drei Abstufungen der adsorbierten Gashülle unterscheidet. Ähnliche Ansichten vgl. bei P. Chappuis, Ann. Phys. u. Chem. **255**, 31 (1883). Der Erstgenannte stellte fest, daß bei längerem Liegen in trockener Luft die Dicke der adsorbierten Gasschicht noch zunimmt, wenngleich diese neuen Gasschichten weniger intensiv haften. Auch über die Dicke der adsorbierten Gasschichten finden sich bei W. Voigt Angaben. Nach Versuchen von E. Kaiser wäre sie auf weniger als $\frac{79}{2} \cdot 10^{-6}$ mm zu bemessen; Inauguraldisseration Bonn (1894) 42/43. O. Schumann, Wiedemanns Annal. Phys. u. Chem. **27**, 91 (1886) findet die adsorbierte Schicht von Luft wie SO_2 bei Glas dünner als $70 \cdot 10^{-6}$ mm. R. Bunsen nahm für CO_2 auf Glas $50 \cdot 10^{-6}$ mm an, Wiedemanns Annal. **20**, 558 (1883), dort finden sich auch höhere Angaben.

[2]) E. Kaiser, Ann. d. Phys. u. Chem. **53**, 667 (1894).

[3]) Vgl. hierüber auch Ch. Ritter, Annuaire Soc. Météo. France (1885) 261; (1887) 362, wo die Bedeutung der den Wassertröpfchen anhaftenden verdichteten Gasschicht und ihre Abhängigkeit von der Krümmung besonders hervorgehoben wird.

[4]) Lord Rayleigh, Proc. Roy. Soc. **28**, 406 (1879).

[5]) P. Lenard, Meteor. Zeitschr. **21**, 255 (1904).

[6]) H. Puchner fand bei Versuchen schnell vorübergehende „Unbenetzbarkeit" schon bei feineren Sandsorten, viel ausgesprochener trat die Erscheinung aber bei Kaolinpulver auf. Vgl. Forsch. Geb. Agrikulturphysik **19**, 18 (1896).

[7]) Schon H. Puchner war die Bedeutung der Zeit für diese Vorgänge bekannt; vgl. ebenda.

teilen und so Zeit gewinnen, den „Benetzungswiderstand“ zu überwinden, ganz in den Boden eindringen können.[1]) Daß die hier zur Verhandlung stehende Erscheinung sich besonders bei Gewitterregen zeigt, liegt hiernach auch nahe. Denn gerade bei ihnen handelt es sich doch sehr häufig um schnell vorübergehende, starke Güsse, denen bald wieder heller Sonnenschein folgen kann, wie er ihnen vorausgeht.

bb) Humusveränderung durch Austrocknen.

Immerhin ist mit diesen Ausführungen erst ein Teil der erforderlichen Erklärung gegeben. Denn nach den schon erwähnten Beobachtungen dauert die „Unbenetzbarkeit“ häufig auch längere Zeit an und findet sich vor allem bei humushaltigen[2]) oder Torfsubstanzen, die einen Austrocknungsvorgang erlitten haben.

Wir müssen hier auf die Tatsache zurückgreifen, daß feuchte, frische Humusstoffe aller Art durch das Austrocknen Veränderungen erleiden, die auch wieder je nach der wechselnden Art und Beschaffenheit des Humus verschieden, zumeist aber tiefgreifend sein werden.[3]) Wir haben es demnach vor dem Austrocknungsvorgang humoser Erde mit einem in mancher Beziehung andersgearteten Stoff zu tun wie nachher. Dann genügt aber diese Tatsache völlig, und man kann die schwer zu erklärenden Annahmen von der Bildung von Wachsüberzügen beiseite lassen. Diese Wachs- und Harzhypothese wird überdies durch die oben erwähnten neuen Beobachtungen von P. Ehrenberg und K. Schultze, zum größeren Teil auch bereits durch H. Puchner und A. Stellwaag, wie schon dargelegt wurde,[4]) als durchaus haltlos nachgewiesen. Um die schwere Aufnahme von Wasser durch trockenen Humusstaub, um den gleichen Vorgang bei den meisten ausgetrockneten Torfsorten zu erklären, ist nur die Annahme erforderlich, daß trockener Humus starke Adsorptionsfähigkeit für Luft, dagegen geringe für Wasser und Wasserdampf besitzt. Damit wird auch eine länger dauernde „Unbenetzbarkeit“ wahrscheinlich. Und nach dem Verhalten von Torfstaub gegenüber starkriechenden Gasen einerseits und an der freien Luft andererseits[5]) ist an dieser Eigenschaft kaum zu zweifeln.

Wir stellen demnach fest, daß infolge des Austrocknens humose

[1]) Vgl. M. Fleischer, bei Ch. A. Vogler, Grundl. d. Kulturtechnik, 4. Aufl. **1** (1), 141 (1909).

[2]) Vgl. u. a. auch H. Puchner, a. a. O., wo sehr eigenartige und schlagende Beweise dafür angeführt werden.

[3]) Vgl. u. a. oben 61. Auch H. Winter, Koll.-Zeitschr. **19**, 9 (1916).

[4]) Oben 254.

[5]) wo er, einmal getrocknet, keine besondere Neigung zeigt, Wasser anzuziehen.

Stoffe mit anderen Eigenschaften auch ihre Adsorptionsfähigkeit gegenüber Gasen einerseits und Wasser andererseits ändern; dies reicht für uns aus, um auch die Schwierigkeiten zu verstehen, die sich, abgesehen von der Tatsache der Luftadsorption selbst, einer Befeuchtung ausgetrockneter Humusteile entgegenstellen. Daß solche für den Landwirt nicht selten auffällig und wichtig werden, beweist vor allem ihre häufige Erwähnung in der Moorkultur,[1]) wie bei mit Moor durchgeführten Versuchen,[2]) dann aber auch die Erwähnung der ungünstigen Eigenschaften des Staubhumus in Land- und Forstwirtschaft.[3]) C. Sprengel nimmt sogar an, daß Überdeckung mit solchem Staubhumus Felder und Wiesen ebenso unfruchtbar mache, als wären sie mit Flugsand überweht.[4]) Der Forstmann aber kennt die gelegentlichem Austrocknen unterworfenen Rohhumusschichten im Walde als verhältnismäßig „unbenetzbar" und fürchtet sie, weil sie die gekeimten Samen der Waldbäume an Wassermangel zugrunde gehen lassen.[5])

Nicht übersehen darf bei der Besprechung dieser „Unbenetzbarkeit" der trockenen Humusstoffe werden, daß sie je nach Herkunft und sonstiger Beschaffenheit in sehr verschiedenem Maße durch das Austrocknen verändert werden dürften und demnach auch keineswegs in gleicher Weise dann die Erscheinung der Unbenetzbarkeit zeigen werden. Hierauf wiesen R. Albert und A. Luther hin, nach denen besonders der saure Humus viel schwerer und langsamer nach dem Austrocknen benetzt werden kann als milder Humus.[6]) Vielleicht gibt es aber auch unter den sauren Humusarten noch Unterschiede in dieser Hinsicht. Darauf deuten wenigstens Angaben H. Wilfarths und G. Wimmers hin,[7]) die, wie H. Hellriegel,[8]) bei ihren Vegetationsversuchen, übrigens auch durch die Unbenetzbarkeit bei Austrocknen der beigegebenen Torfmengen, Schwierigkeiten begegneten.

[1]) C. von Seelhorst, Acker- und Wiesenbau auf Moorboden, 2. Aufl., 63 (Berlin 1914); H. Puchner, Forsch. Geb. Agrikulturphysik **19**, 19 (1896); J. G. Koppe, Ackerbau **1**, 114 (1856). Auch P. Ehrenberg, Mitteil. landw. Inst. Univ. Breslau **4**, 470 (1908).

[2]) J. Fittbogen, Landw. Jahrb. **3**, 110 (1874); von Klenze, ebenda **6**, 86 (1877); A. Stellwaag, Forsch. Geb. Agrikulturphysik **5**, 216 (1882).

[3]) Vgl. oben 247 u. f.

[4]) C. Sprengel, Bodenkunde (1837) 233.

[5]) Vgl. E. Ramann, Bodenkunde, 3. Aufl. (Berlin 1911) 345.

[6]) R. Albert und A. Luther, Journ. Landw. **56**, 370 (1908).

[7]) H. Wilfarth und G. Wimmer, Arb. Deutsch. Landw.-Ges. **68**; Zeitschr. Vereins Deutsch. Zuckerind. **49**, 543 (1899).

[8]) H. Hellriegel, Arb. Deutsch. Landw.-Ges. **34**, 12 (1898).

Nach M. Egorow wird die Benetzbarkeit des Bodens, besonders von Torfboden, durch Behandlung mit Schwefelkohlenstoff in bedeutendem Umfange herabgedrückt überhaupt wird das Verhalten des Bodens zum Wasser dadurch ungünstig beeinflußt.[1] Es ist nicht ganz leicht zu sagen, ob hierfür — gesetzt, daß gegen die Tatsächlichkeit der Behauptung nichts einzuwenden wäre — Fragen der Luftadsorption maßgebend in Betracht kommen. Denn Aufnahme und Verteilung von in Schwefelkohlenstoff löslichen Stoffen des Bodens und ihre Wiederabscheidung an der Oberfläche der Bodenteilchen ist ebenso, wie chemische Einwirkung auf Humusstoffe, bevor besondere Versuche durchgeführt werden, in diesem Falle nicht ohne weiteres auszuschließen. Doch sei darauf hingewiesen, daß es auch möglich erscheint, eine vielleicht noch einfachere Erklärung zu geben. Nimmt man an, daß der benutzte Schwefelkohlenstoff beim Verdunsten auf den vorher von ihm benetzten Oberflächen im Boden elementaren Schwefel in feinster Verteilung zurückläßt, so liegt es sehr nahe, daß dieser dann infolge von Luftadsorption schwere Benetzbarkeit zeigt. Auch könnte eine Hülle von Schwefelkohlenstoff bei der starken Adsorbierbarkeit organischer Stoffe[2]) sich länger um die Bodenteilchen erhalten, und bei der geringen gegenseitigen Löslichkeit von Schwefelkohlenstoff und Wasser maßgebende Bedeutung besitzen. Damit würde der geschilderte Einfluß des Schwefelkohlenstoffs auf das Verhalten des Bodens zum Wasser schon eine gewisse Erklärung zu finden vermögen. Ob damit freilich die vorliegende Frage bereits ausreichend zu klären sein würde, wird man billig bezweifeln müssen. Denn nach G. Quinke[3]) werden Kaolinaufschwemmungen durch sehr geringe Mengen von Schwefelkohlenstoff zur Zusammenballung gebracht, wonach ja wohl allgemein ein derartiger, ausflockender, die Krümelbildung fördernder Einfluß des Schwefelkohlenstoffs auf die Bodenkolloide zu erwarten wäre.

cc) Schüttigkeit von Böden.

Ich konnte oben darauf hinweisen,[4]) daß durch die Adsorption von Luft auch eine besonders lockere Lagerung der an Kolloiden bzw. sehr feinen Teilchen reichen Böden bedingt werden kann.[5]) Bekannt

[1]) M. Egorow, Journ. exp. Ldw. **9**, H. 1 (1908).

[2]) Daß diese in ähnlichen Fällen Bedeutung besitzt, konnten P. Ehrenberg und K. Schultze darlegen, vgl. Koll.-Zeitschr. **15**, 188 (1914).

[3]) G. Quinke, Annal. Physik (4) **7**, 57 u. f., vgl. auch ebenda **9**, 969 (1902).

[4]) Vgl. 252.

[5]) W. Bagger, Inauguraldissertation (Königsberg 1902) 32—33.

ist dies Verhalten feiner Pulver wohl am besten und allgemeinsten für das Mehl, das bei lockerer Schüttung sich gegen einen hineingeworfenen Gegenstand mit Aufspritzen u. dgl fast wie Wasser verhält und in dem — in den großen Sammelkästen von Mühlen — schon Menschen „ertrunken" sind. Ähnlich bietet es auch große Schwierigkeiten, trockene, lockere, sehr feine Bodenproben mit einem Stößel zusammenzudrücken.[1] Wie hier Mehl oder fein gepulverter Erdboden, so verhält sich unter Umständen aber auch natürlicher Boden in freier Natur. In begrenzten Teilen Rußlands treten stellenweise Bodenvertiefungen auf, welche mit einem derartig beschaffenen Material angefüllt sind.[2] Menschen und Tiere, welche hineingeraten, versinken in dem ausweichenden Boden, weshalb derartige Stellen eingefriedet und mit Warnungstafeln versehen werden.[3] Es ist klar, daß diese Gefahr[4] sich mit zunehmender Feuchtigkeit des Bodens verringert und daher in trockenen Zeiten am größten sein wird. Auf ähnliche Umstände mag zum Teil die Beobachtung zurückzuführen sein, daß feiner Sand den Fuß trocken tief einsinken läßt, feucht aber viel fester erscheint.[5] Hierzu sind aber noch weiter unten zu gebende Erläuterungen heranzuziehen. Wieweit vielleicht einmal ähnliche Umstände neben der Wirkung des Pflanzenwuchses für die so auffallend lockere, „schütte" Lagerung des Löß bedingend gewesen sein mögen, kann hier nicht näher geprüft werden, doch sei auf die Möglichkeit solchen Zusammenhangs aufmerksam gemacht.[6]

dd) Der unterirdische Tau.

Die Adsorption von gasförmig im Luftmeer vorhandenen Wasser durch den Erdboden ist ein Gebiet, das uns zweckmäßig von der Adsorption von Gasen zu der von Flüssigkeiten überleitet, und daher hier kurz Behandlung finden mag.

Schon seit langen Jahren ist immer wieder die Annahme vertreten worden, daß für das im Erdboden aufgespeicherte, und in Form der Verdunstung durch nackten Boden und Pflanzen, durch Quellen und Brunnen

[1]) H. Puchner hat auf diese Eigenschaften von Bodenpulvern hingewiesen; vgl. Forsch. Geb. Agrikulturchemie **19**, 12 (1896).

[2]) Wahrscheinlich durch Ausfüllung von Vertiefungen mit dem lockeren, äußerst feinen Material der Staubstürme entstanden.

[3]) Nach W. R. Williams-Moskau mitgeteilt von H. Puchner, a. a. O. 13.

[4]) Also ein ähnlicher Vorgang wie Triebsand, nur daß an Stelle des die Sandteilchen tragenden Wassers hier die adsorbierte Luft tritt.

[5]) J. R. Lorenz von Liburnau, Geolog. Verh. v. Grund u. Boden (1883)

[6]) Vgl. auch R. Sachsse, Erläut. geolog. Spezialkarte Sachsen, Sekt. Lommatzsch-Leuben, **47**, Anhang (1892) 22.

ihn verlassende Wasser noch andere Zuflüsse vorhanden seien, als Niederschläge und aus Wasserläufen u. dgl. stammende Druck- und Sickerwässer. Nach einigen, weniger deutlich sich äußernden Vorgängern, so Thales, Hippon, und etwa Plato, ist Aristoteles als erster Gewährsmann für die Anschauung zu nennen, daß die in der Erde herrschende Kälte die darin enthaltene Luft verdichte, um sie so als Wasser niederzuschlagen, welches dann die Flüsse und Quellen speise.[1]) Ganz ähnliche Ansichten gibt Seneca,[2]) und manche andere, mehr oder weniger verwandte Meinungen lassen sich in der Literatur auffinden, wenn man auf ältere und alte Schriftsteller zurückgeht.[3]) In neuerer Zeit ist dann in erster Linie O. Volger lebhaft für die Bedeutung einer Verdichtung von Wasserdampf in der Erde eingetreten.[4]) Die aus mit Wasserdampf gesättigter Luft in den kühlen, tieferen Schichten des Erdreichs erfolgenden Tauniederschläge sollen demnach das Wasser für die Quellen liefern. Hier käme also der „unterirdische Tau" in Betracht. E. Wollny, der Volgers Ansichten in einem ausführlichen Bericht würdigte, wies zwar auf eine ganze Reihe schwacher Stellen derselben hin und lehnte sie auch als Quellenlehre ab. Doch leugnete er keineswegs,[5]) daß Tauniederschläge sich im Boden zu bilden vermöchten. Zumal Tauniederschläge unter den Boden dicht bedeckenden Pflanzenmassen dürften ihm bedeutungsvoll erschienen sein, da sie weniger der Verdunstung ausgesetzt sind. Auch G. Havenstein trat lebhaft für das Vorhandensein und die Bedeutung solcher unterirdischen Taubildung ein, wenn er auch die Prüfung durch den Versuch für erforderlich erachtete.[6]) Überhaupt scheint man bis Ende der siebziger Jahre vorigen Jahrhunderts mehr oder weniger weitgehend eine gewisse Bedeutung dieser unterirdischen Taubildung vertreten zu haben,[7]) wie u. a. auch aus Ausführungen von E. W. Hilgard[8]) und J. S. Sikorski[9]) hervorgeht. Freilich führt dieser

---

[1]) Aristoteles, μετεωρολογικά, 1, Kap. 13 u. 14; 2, Kap. 1—3. Vgl. auch O. Gilbert, Meteorolog. Theorien d. griech. Altertums (Leipzig 1907) 400, 416.

[2]) A. Seneca, Naturales Quaestiones 3, 7.

[3]) Vgl. E. Kohler, Zeitschr. prakt. Geologie 18, 23 (1910). Z. B. Debauve, Météorologie.

[4]) O. Volger, Zeit u. Ewigkeit (1857); Zeitschr. Verein deutsch. Ingen. 21, 481 (1877).

[5]) E. Wollny, Forsch. Geb. Agrikulturphysik 2, 54 (1879).

[6]) G. Havenstein, Landw. Jahrb. 7, 311 (1878).

[7]) A. v. Rosenberg-Lipinsky, Praktischer Ackerbau 2, 373 Anm. (Breslau 1890).

[8]) E. W. Hilgard, Forsch. Geb. Agrikulturphysik 8, 93 (1885).

[9]) J. S. Sikorski, Forsch. Geb. Agrikulturphysik 9, 413 (1886).

Forscher auch bereits eine ganze Anzahl von Gegnern der erwähnten Anschauungen, und den Erfolg ihrer Untersuchungen als dahingehend an, daß man von der Ansicht über die Bedeutung so aus der Luft aufgenommener Feuchtigkeit für die den Boden besiedelnden Pflanzen vielfach zurückkomme. Von den bei ihm angeführten Forschern abgesehen seien hier noch H. Hellriegel,[1] E. Heiden[2] und Th. Schlösing d. Ä.[3] genannt, deren Ausführungen als im wesentlichen gegen die Ansicht vom unterirdischen Tau gerichtet angesehen werden müssen. Es sind dann eigens zur Klärung der Verhältnisse Versuche von J. S. Sikorski[4] angestellt worden, die allerdings den mannigfachen, möglichen Bedingungen nicht auch nur annähernd Rechnung trugen,[5] aber keine erhebliche Bedeutung der Verdichtung von Wasserdampf durch den Boden nachweisen konnten. Da übrigens eine ganze Reihe von Vertretern entgegengesetzter Anschauungen in größerem Umfange reine Empiriker waren, so vermochten sie den immerhin in einigem, wenn auch wohl noch nicht ausreichenden Umfange durch den Versuch begründeten Anschauungen der Fachvertreter nicht mit Aussicht auf wirklichen Erfolg entgegenzutreten. Es genüge, in dieser Hinsicht auf eine zusammenfassende Mitteilung E. Kohlers[6] hinzuweisen. Dagegen muß den Feststellungen von C. L. Wiklund[7] und den ihnen zugrunde liegenden Beobachtungen von M. Fleischer[8] eine gewisse Bedeutung unzweifelhaft zugesprochen werden, und hiernach wäre mit einer bemerkbaren Wasseraufnahme von Moorboden aus der Luft durchaus zu rechnen, um so mehr, als Wiklunds Versuche nicht etwa bei für derartige Untersuchungen besonders günstiger Witterung ausgeführt wurden.[9] — Das vorliegende Gebiet hat dann aber in neuerer Zeit, und mit entsprechenden Hilfsmitteln exakter Forschung nur sehr vereinzelt Bearbeitung gefunden. Man würde vielleicht einige Berechtigung für sich in Anspruch nehmen können, die ganze Anschauung vom unterirdischen Tau als veraltete, haltlose Theorie zu bezeichnen, wenn nicht doch immer wieder beachtenswerte Männer für sie

---

[1]) H. Hellriegel, Grundlag. Ackerbaues (Braunschweig 1883) 708 u. f.

[2]) E. Heiden, Denkschrift 25. Besteh. Versuchsstat. Pommritz (Hannover 1883) 164.

[3]) Th. Schlösing d. Ä., Ann. Science agronom. **1**, 1 (1883).

[4]) J. S. Sikorski, Forsch. Geb. Agrikulturphysik **9**, 413 (1886).

[5]) Ebenda 430, Anm. 2.

[6]) E. Kohler, Zeitschr. prakt. Geologie **18**, 23 (1910).

[7]) C. L. Wiklund, Landw. Jahrb. **20**, 871 (1891).

[8]) M. Fleischer, ebenda 798.

[9]) Ebenda 873.

auftreten würden. Hierzu ist noch in erster Linie A. v. Rosenberg-Lipinsky zu nennen, der mit ausgesprochener Deutlichkeit die Erscheinung des unterirdischen Taues als hochwichtig bezeichnet,[1] ja, soweit geht, von einer „atmosphärischen Berieselung" zu sprechen. Er will die Erscheinung auch offenbar zur Erklärung der Schattengare mit heranziehen,[2] worin er dann mit E. Wollny einigermaßen gleicher Ansicht sein würde. Auch in jüngster Zeit haben, neben Mezger., C. Luedecke[3]) und W. Kleberger der Bildung unterirdischen Taues erhebliche Bedeutung zugesprochen, freilich wohl ohne neues Versuchsmaterial beizubringen.[4] Solches ist mir nur von G. Bouyoucos[5] sowie A. W. Speranskiy und Th. H. Krascheninnikow[6] bekannt geworden. Auch diese glauben, daß unterirdischer Tau eine beachtenswerte Erscheinung im Boden darstellt, indem z. B. auch durch die Sonnenwärme aus den oberen Bodenschichten entweichender Wasserdampf nur zum Teil in die Luft, zum Teil aber in die tiefer gelegenen, kühleren Erdschichten entweicht, wo er sich eben zu unterirdischem Tau verdichtet. Hygroskopizität und Temperaturunterschiede sind maßgebend, und im einzelnen hohe absolute Luftfeuchtigkeit, große Hygroskopizität des Bodens, starke Temperaturunterschiede zwischen höheren und tieferen Bodenschichten, große Amplitude der Temperaturschwankungen der oberen Bodenschicht, und erhebliche Durchlässigkeit des Bodens für Wasserdampf förderlich. Versuche scheinen hierfür leidlich bestätigende Ergebnisse gezeitigt zu haben. Auch Daten von Schirokich und Berechnungen der Verfasser sollen die Erscheinung dartun, daß der Wassergehalt in den unteren Schichten bei Erwärmung der oberen beträchtlich zunehme. — Wie weit hierüber noch anzustellende Forschungen etwa eine Bestätigung oder Ablehnung der Theorie von der Bedeutung des unterirdischen Taues erbringen werden, ist nicht mit Sicherheit zu sagen, zumal auch die Verhältnisse der verschiedenen Klimate und Böden schwerlich eindeutig wirken werden. Da man in jüngster Zeit auch von anderen Gesichtspunkten her[7] der Bewegung von Feuchtigkeit unter dem Einfluß eines

[1] A. v. Rosenberg-Lipinsky, praktische Ackerbau **1**, 220 (Breslau 1890).
[2] Ebenda **2**, 105—107, 373.
[3] C. Luedecke, Kulturtechniker **15**, 104 (1912); Mezger, vgl. Gesundh. Ing. **31**, 241 (1908).
[4] W. Kleberger, Grundzüge Pflanzenernähr. u. Düngerlehre **1**, 97 (1914).
[5] G. J. Bouyoucos, Journ. Agric. Research **5** 141 (1915).
[6] A. W. Speranskiy und Th. H. Krascheninnikow, Journ. exp. Ldw. **8**, 331 (1907).
[7] H. Wessels, Inauguraldissertation, Göttingen, 8—27 (1913).

Wärmegefälles Beachtung geschenkt hat, so wird vielleicht auch das Zweifelhafte, das dem unterirdischen Tau jetzt noch in übergroßem Umfange anhaftet, in nicht allzu langer Frist durch sichere Entscheidung gegen, oder vielleicht auch für diese Ansicht abgelöst.

Wenn ich zum Schluß den kurzen Hinweis anschließe, daß die Fähigkeit, Gase stark zu adsorbieren, auch für die Verwendung von trockener Erde zur Abtrittseinstreu maßgebend gewesen sein dürfte,[1]) wie ja noch ungleich stärker in dieser Richtung die Torfstreu wirkt, so dürfte damit die Frage der Adsorption von Gasen hier für uns erledigt sein.

2. Adsorption von Flüssigkeiten.

a) Theoretisches und die Benetzungswärme.

Auch im Wasser werden sich die unlöslichen Bodenteilchen, zumal wenn sie recht klein sind und demnach über eine verhältnismäßig große Oberfläche verfügen, mit Adsorptionshüllen umgeben. Diese Erscheinung ist zwar nicht so deutlich zu beobachten wie bei der Adsorption von Gasen, aber doch unzweifelhaft vorhanden. Als Beweis dafür kann die sog. Benetzungswärme gelten, die stets auftritt wenn trockene Stoffe mit großer Oberfläche von Wasser benetzt werden,[2]) und die durch ihre Verwendung für die physikalische Bodenuntersuchung durch A. Mitscherlich[3]) in landwirtschaftlichen Kreisen bekannter geworden ist. Die Einführung der Benetzungswärme in die Bodenuntersuchung wäre übrigens beinahe schon vor A. Mitscherlich durch A. v. Babo erfolgt.[4]) Wenigstens wies dieser darauf hin, daß sich die einzelnen Bodenarten ihrer Benetzungswärme nach verschieden verhalten müßten. Der unzureichenden Methodik halber ist dann wohl damals weiteres unterblieben. Doch hat auch noch A. Stellwaag später die Benetzungswärme bodenkundlich zu verwerten gesucht.[5])

[1]) Vgl. z. B. R. E. Buchanan, Vierteljahrsschr. öffentl. Gesundheitspflege. Die zu verwendende Erde muß getrocknet sein.

[2]) Zuerst wohl von C. Pouillet beobachtet, Ann. Phys. u. Chem. **73**, 356 (1823).

[3]) A. Mitscherlich, Inauguraldissertation (Kiel 1898) 27; Journ. Landw. **46**, 255 (1898).

[4]) A. von Babo, Journ. prakt. Chem. **72**, 275—276 (1857).

[5]) A. Stellwaag, Forsch. Geb. Agrikulturphysik **5**, 210 (1882). Auch G. Gores Arbeiten könnten hier noch erwähnt werden, Philosoph. Mag. (5) **37**, 306 (1894). Ferner T. Martini nach Zeitschr. physik. Chem. **27**, 523 (1898); **28**, 739 (1899); Ercolini, Nuov. Cim. (4) **9**, 110 (1899) und andere.

Vielleicht mag hier der Ort sein, nur ganz kurz darauf hinzuweisen, daß die Verwendung der Benetzungswärme zur Untersuchung der Erdböden auf Grund theoretischer Bedenken unsicher zu sein schien. C. Jungk[1]) und G. Schwalbe[2]) wiesen nämlich darauf hin, daß eigentlich eine Benetzungswärme nur oberhalb des Punktes von $+4^0$ für die größte Dichte des Wassers bestehen könne und darunter eine Benetzungskälte zu erwarten sei. Das Untersuchungsmaterial der genannten Forscher erscheint indes durch sehr viele Feststellungen von anderer Seite, die tatsächliche Benetzungswärmen auch unter $+4^0$ ermittelten, als recht unsicher.[3]) Und auch theoretisch konnte, wie M. Rosenow hervorhebt, wohl durchaus mit Recht von F. Meißner[4]) darauf hingewiesen werden, daß aller Wahrscheinlichkeit nach die adsorbierte Wasserschicht unter Verhältnissen sich befindet, die ein Auftreten der größten Dichte des Wassers bei einer anderen Temperatur als $+4^0$ sehr wahrscheinlich machen. So ist es nicht nur möglich, sondern sogar wahrscheinlich, daß bei den Drucken, denen adsorbiertes Wasser unterliegt und die wir alsbald als sehr hohe kennen lernen, sein Dichtigkeitsmaximum erheblich unter 0^0 erreicht wird, zumal schon 200 Atmosphären Druck nach E. Amagat[5]) dies Dichtigkeitsmaximum in die Nähe von 0^0 rücken ließen. Ähnliche Anschauungen vertritt auch G. Keppeler,[6]) und man wird die Bestimmung der Benetzungswärme für Erdboden von dieser Richtung aus wohl nicht angreifen dürfen, obwohl H. Freundlich[7]) die Ansichten von C. Jungk und G. Schwalbe übernahm. Die Unhandlichkeit des Untersuchungsverfahrens hat inzwischen ja allerdings trotzdem zur Aufgabe der Benetzungswärmebestimmung für Erdboden geführt.

Daß Flüssigkeiten an den Oberflächen fester Körper verdichtet

[1]) C. Jungk, Ann. Phys. **125**, 292 (1865).

[2]) G. Schwalbe, Ann. Phys. (4) **16**, 32 (1905).

[3]) F. Meißner, Inauguraldissertation (Straßburg 1886) 8 u. 9. H. Rodewald, Zeitschr. physik. Chem. **24**, 206 (1897). A. Mitscherlich, Inauguraldissertation (Kiel 1898) 23 und spätere Arbeiten; z. B. Journ. Landw. **48**, 71 (1900); Bodenkunde, 1. Aufl. (Berlin 1905) 61 ff; M. Rosenow, Dissertation (Hannover 1911) 33.

[4]) In der von M. Rosenow, a. a. O. 30, zitierten Inauguraldissertation F. Meißners (Straßburg 1886) findet sich freilich ein diesbezüglicher Hinweis F. Meißners nicht. Er muß an einer andern Stelle vorhanden sein.

[5]) E. Amagat, Compt. rend. **116**, 946 (1893); vgl. auch R. Börnstein-W. Roths Physik.-Chem. Tab., 4. Aufl. (1912) 341.

[6]) Nach mündlicher Angabe.

[7]) H. Freundlich, Kapillarchemie (Leipzig 1909) 181.

würden, konnte wohl zuerst S. D. Poisson in scharfer Weise aussprechen.[1]) Wie sehr hierfür sowohl die Art der festen Körper, wie ihre Oberfläche und endlich die Krümmung der Oberfläche wichtig seien, ermittelten z. B. M. G. Wertheim[2]) und L. Wilhelmy.[3]) H. Rodewald hat sich dann dahin geäußert, daß die z. B. von Stärke adsorbierte und dabei verdichtete Wasserschicht mit zunehmender Entfernung von der Oberfläche des festen Stoffes sehr rasch ihre Besonderheit verlieren wird.[4]) Hiernach könnte also die Dicke der adsorbierten Schicht nicht besonders groß sein. Zunächst erscheint ja wohl überhaupt der Gedanke einer Verdichtung von Wasser bei der sehr geringen Zusammendrückbarkeit desselben eigenartig.[5]) Die Zusammendrückbarkeit des Wassers beträgt für 100 Atmosphären Druck nur zwischen 41 und 49.10^{-6}, oder mit anderen Worten, es verloren z. B. 100 ccm Wasser unter einem Druck von 100 Atmosphären nur 4½ cmm ihrer Ausdehnung.[6])

Hierzu muß man nun aber die Druckwirkungen beachten, denen das adsorbierte Wasser wahrscheinlich ausgesetzt sein dürfte. M. Melsens suchte die Kraft, mit welcher adsorbiertes Wasser von Kohle festgehalten wird, zu ermitteln und erhielt dafür fast 900 Atmosphären.[7]) P. Chappuis hält indessen diese Berechnung für unsicher und stellt seinerseits als Näherungswert für den bei der Benetzung von Kohle durch Wasser wirkenden Druck die ungeheure Menge von 27½ Millionen Atmosphären fest. Er sagt dazu: „Ohne dieser Zahl eine größere Bedeutung zuschreiben zu wollen, als es die mit wachsendem Druck abnehmende Zusammendrückbarkeit des Wassers zuläßt, glaube ich doch die gefundene Größe als eine untere Grenze der von 1 g Kohle ausgeübten Adhäsionskraft ansehen zu müssen." [8]) H. Rodewald[9]) endlich berechnet als höchsten Druck, mit dem die von uns als trocken bezeichnete Stärke das Wasser

[1]) S. D. Poisson, Nouv. Theor. action capill. 36, 167 (1831); G. Rose, Ann. d. Phys. **73**, 1 (1848); L. Wilhelmy, Ann. d. Phys. u. Chem. **119**, 192 (1863).

[2]) M. G. Wertheim, Compt. rend. **44**, 1022 (1857); Ann. Chim. Phys. **63**, 172, 197 (1861).

[3]) L. Wilhelmy, Ann. Phys. u. Chem. **119**, 193, 195, 202, 216, 217 (1863); ebendort **122**, 7—8, 15 (1864).

[4]) H. Rodewald, Zeitschr. physik. Chem. **33**, 597 (1900).

[5]) W. Spring, Bull. Soc. Belg. Géol. **17**, Mémoires 24 (1903).

[6]) G. Hulett, Zeitschr. physik. Chem. **33**, 243—244 (1900), bei Temperaturen von 9—50°.

[7]) M. Melsens, Ann. Chim. Phys. (5) **3**, 522 (1874).

[8]) P. Chappuis, Ann. Phys. u. Chem. **255**, n. F. **19**, 35 (1883).

[9]) H. Rodewald, Zeitschr. physik. Chem. **24**, 218 (1897).

anzieht, 2073 kg auf den Quadratzentimeter, etwa der gleichen Atmosphärenzahl (2008) entsprechend, während das Wasser selbst dabei mit einem Druck von 2523 bis 2821 Atmosphären zusammengedrückt wird.[1])

So ist doch wohl mit nicht unerheblicher Verdichtung des adsorbierten Wassers zu rechnen. Ob es dabei nun ähnlich wie bei der Adsorption von Luft zu einer Bildung von verschieden stark verdichteten Schichten um das adsorbierende feste Teilchen kommt, ist wohl noch nicht im einzelnen durch den Versuch geprüft,[2]) wie es dort durch W. Voigt geschah.[3]) Aber wenn auch wohl in geringerem Maße, so dürfte hier Ähnliches in Erscheinung treten. Nach eingehenden Berechnungen von P. Ehrenberg, die sich auf neueste Anschauungen aus dem Gebiete der physikalischen Chemie und Physik stützen, ist es wahrscheinlich, daß im Zustande der Hygroskopizität, wie H. Rodewald und A. Mitscherlich diese festlegten,[4]) zehn Molekülschichten Wasser gleich $2,5 \quad 10^{-6}$ mm die Oberfläche der Bodenteilchen umkleiden.[5]) Dieser Wert paßt nicht schlecht zu der Behauptung von E. Warburg und T. Ihmori[6]), daß bei den von ihnen untersuchten in Wasser unlöslichen Körpern mit glatter Oberfläche oberhalb des Taupunktes kein Wasserbeschlag nachzuweisen war, welcher die Dicke von $1-2 . 10^{-6}$ mm überstiegen hätte. Es ist zu beachten, daß fein verteilte, pulverisierte Körper, die sehr wahrscheinlich eine stärkere Adsorption des Wassers ergeben hätten, dabei nicht untersucht wurden. Eine Verdichtung des durch sie verkörperten Wassers wird für diese Schichten hygroskopischen Wassers ebenso vorhanden sein, wie bei völlig in Wasser liegenden Körpern, bei denen von der Oberfläche des festen Körpers nach der Flüssigkeit hinein die Dichte der Flüssigkeit zwar verhältnismäßig schnell,[7]) doch stetig, nicht sprungweise abnehmen

[1]) H. Rodewald, Landw. Versuchsstat. **45**, 223/4. (1895).

[2]) P. Vageler nimmt an, daß 200 Molekülschichten Wasser vom Boden bzw. dessen Einzelteilchen adsorbiert werden; vgl. Fühlings Landw. Ztg. **61**, 73 (1912); A. Mitscherlich glaubt dagegen nach H. Rodewald nur eine annehmen zu sollen; Bodenkunde, 2. Aufl. (Berlin 1912) 69 u. f.

[3]) Vgl. oben 255 Anmerk. 1. Auch G. C. Schmidt, Zeitschr. physik. Chem. **74**, 713 (1910), vertritt zunächst für die Adsorption von Gasen ganz ähnliche Gedanken, überträgt diese aber auch auf die Verhältnisse bei Adsorption von Flüssigkeiten; a. a. O. 713 u. 735.

[4]) H. Rodewald u. A. Mitscherlich, Landw. Versuchsst. **59**, 434 (1904).

[5]) P. Ehrenberg, Fühlings Landw.-Ztg. **63**, 725 (1914); **64**, 233 (1915), bes. 235.

[6]) E. Warburg und T. Ihmori, Wiedemanns Annal. Phys. u. Chem. **27**, 481 (1886).

[7]) Vgl. oben H. Rodewald.

dürfte,[1]) so daß, von der umgebenden Flüssigkeit aus gerechnet, eine nicht verdichtete Flüssigkeitsschicht allmählich, wenn auch verhältnismäßig rasch, in eine mäßig verdichtete und dann zuletzt in die stark verdichtete, dem festen Körper unmittelbar anliegende, übergeht.[2])

Daß dem so ist, mögen vielleicht Angaben von W. Spring wahrscheinlich machen.[3]) Er stellte bei einigen Versuchen fest, daß in Flüssigkeiten zu Boden sinkende Sandkörnchen ziemlich feiner Art[4]) sich zunächst nur locker aufeinander lagerten, so daß die Sandschicht eine recht erhebliche Höhe aufwies. Erst im Laufe einer ganzen Reihe von Tagen, bis 12 und mehr, sank sie auf ein gleich bleibendes Maß zusammen. Man könnte nun annehmen, daß es sich lediglich um eine instabile Lagerung der Sandkörnchen gehandelt habe, die im Laufe der Zeit, vielleicht unter dem Einfluß geringer Erschütterungen, in eine mehr enge, stabile übergegangen wäre. Das wird auch zum Teil wohl der Fall sein. Wenn wir uns aber der weiter oben beschriebenen Versuche W. Springs mit Sand und seiner Lagerung im lufterfüllten wie im luftleeren Raum erinnern[5]) und der von ihm bewiesenen Tatsache, daß hierbei die adsorbierten Luftschichten zweifellos eine erhebliche Rolle für die Dichte der Lagerung der Sandkörnchen spielten,[6]) so werden wir nicht umhin können, auch hier mit ihm anzunehmen, daß die adsorbierte Flüssigkeitsschicht ähnlich wirkt. Dabei werden die weniger stark verdichteten Teile derselben wahrscheinlich keinen besonderen Widerstand leisten, wenn Druck die Körnchen einander zu nähern sucht, sondern allmählich ausweichen; das würde die bei W. Springs Versuchen beobachtete Wirkung der Zeit auf die Lagerung erklären, die sich bei der Absetzung von Sand aus Flüssigkeiten wie aus Luft geltend machte.[7])

Wir hätten hiernach auch bei in Flüssigkeiten befindlichen feinen Teilchen mit dem Vorhandensein von verdichteten Flüssigkeitsschichten um dieselben zu rechnen,[8]) die sich von der umgebenden Flüssigkeit an gerechnet stetig, und zwar ziemlich schnell in ihrer Dichte steigern, bis zu

[1]) Wo. Ostwald, Grundriß d. Kolloidchemie, 2. Aufl. (Dresden 1911) 143, und die dort zitierte Literatur, besonders H. Hulshof.

[2]) J. M. van Bemmelen, Absorption (Dresden 1910) 275.

[3]) W. Spring, Bull. Soc. Belg. Géol. **17**, Mémoires 22 (1903).

[4]) Von einer mittleren Größe von 5—10 μ.

[5]) Oben 252/53. W. Spring, a. a. O. 22 ff.

[6]) W. Spring, a. a. O., besonders 24.

[7]) Vgl. W. Spring, a. a. O. 22 u. 24.

[8]) Vgl. dazu auch A. Mitscherlich, Bodenkunde, 1. Aufl. (Berlin 1905) 95; L. Herwegen, Braunkohle **10**, 273 (1911).

der am stärksten verdichteten Schicht direkt an der Oberfläche des festen Teilchens.[1]) Auch über die Dicke dieser Schicht liegen schon ungefähre Berechnungen vor.[2])

b) Die Bodenoberfläche.

Die Bestimmung der Oberfläche bestimmter Gewichtsmengen von Erdboden besitzt naturgemäß für Erörterungen über die von dem Boden ausgeübten Adsorptionswirkungen eine erhebliche Bedeutung. Denn entsprechend den weiter oben gegebenen Ausführungen wird die Größe der Oberfläche vielfach entscheidend für den Umfang der Adsorptionswirkung sein, wie man umgekehrt auch bereits durchaus daran gewöhnt ist, beim Auftreten geringerer Adsorption in der einen von zwei sonst gleichartigen Kolloidverteilungen anzunehmen, daß in diesem Falle die Oberflächenausdehnung eine geringere ist.[3])

Selbstverständlich handelt es sich bei der hier in Betracht kommenden Größe der Bodenoberfläche — wie schon daraus hervorgeht, daß sie meist für das Gramm Erdboden bestimmt wird — nicht um etwas anderes, als die Summe der Oberflächen sämtlicher gröberen und feineren Teile des trockenen Bodens, bis herab zu den allerfeinsten.[4]) Man muß sich das etwa ebenso vorstellen, wie man unter dem Ausdruck „Oberfläche eines Kilogramms Schrot" die Summe der Kugeloberflächen der einzelnen Schrotkörner verstehen würde. — Diese Bodenoberfläche wird in unseren üblichen Flächenmaßen ausgedrückt.

Versuche, sie zu bestimmen, sind bereits nicht selten durchgeführt worden, zeigen indessen starke Unterschiede. Die ersten, diesbezüglichen Bestimmungen von M. Whitney[5]) brachten für den schwersten, von ihm untersuchten Tonboden eine Oberfläche von 5574 qcm für das Gramm. F. Houdaille und F. Semichon kamen in ziemlich der gleichen Größenordnung zu annähernd der gleichen, bereits 25 Jahre zurückliegenden Zeit auf 7550 qcm für ein Gramm Tonboden.[6]) A. Mitscherlich dagegen glaubte für 1 g Tiefland-Moorboden 747,9 qm, für 1 g strengen Tonboden sogar 966,7 qm annehmen zu müssen, demnach etwa das Tausendfache der älteren Angaben.[7])

---

[1]) Vgl. auch Wo. Ostwald, Grundriß der Kolloidchemie, 2. Aufl. **1**, 91 (Dresden 1911).

[2]) E. Hatschek, Koll.-Zeitschr. **11**, 283 (1912).

[3]) W. Mecklenburg, Zeitschr. anorg. Chem. **64**, 369 (1909).

[4]) Natürlich aber nicht bis zu molekularer Zerteilung hinab.

[5]) M. Whitney, U. S. Departm. Agrikult., Weath. Bur. **4**, 73 (1892).

[6]) F. Houdaille und F. Semichon, Compt. rend. **115**, 1016 (1892).

[7]) A. Mitscherlich, Bodenkunde, 2. Aufl. (Berlin 1913) 70.

Die Anschauung Mitscherlichs ist nun bereits von P. Vageler angezweifelt worden. Dieser bestimmte für Erdboden an der Hand der Werte von Mitscherlich die spezifische Oberfläche,[1]) und stellte derart fest,[2]) daß es sich, falls Mitscherlichs Zahlen richtig sein würden, bei den von ihm benutzten Böden bereits um reine Kolloide handeln müßte. Da aber fraglos ein Teil dieser Böden aus gröberen Teilen, feinem Sand und dergleichen besteht, so ergibt sich eben, daß die genannten Werte zu groß sind. Ähnlich hat noch vorher schon K. Pfeiffer sich gegen die Bestimmungen Mitscherlichs ausgesprochen.[3]) P. Ehrenberg hat dann ausführlich darzulegen gesucht, daß die Ansichten der beiden Genannten, nach denen Mitscherlichs Werte etwa um das Fünfhundert- bis Zweihundertfache zu groß sind, nicht als durchaus irrtümlich anzusehen sind, und daß in der Tat dem sehr strengen Tonboden Mitscherlichs sich statt 966,7 nur rund 16 qm als obere Grenze der Oberfläche zuschreiben lassen, wobei es sehr möglich ist, daß auch diese Zahl noch als zu groß angesehen werden muß.[4]) Man kommt derart der Größenordnung der früher erwähnten, älteren Messungen doch schon ganz erheblich näher.

Einige anderweitige Feststellungen erhärten denn auch diese Annahme. So konnte S. Odén nach seinem neuen Verfahren der mechanischen Bodenanalyse für einen roten, atlantischen Tiefseeton die Oberfläche der 96%, die er untersuchte, zu 1,7 qm feststellen.[5]) Nun fehlen allerdings mit den 4%, die nicht zur Untersuchung kamen, gerade die feinsten Teilchen, nämlich die unter 2 μ Durchmesser. Trotzdem wird man nicht leugnen können, daß auch mit ihrer Berücksichtigung die Oberfläche für das Gramm Tiefseeton nur innerhalb der von mir gekennzeichneten Grenzen liegen kann.

Es besteht nämlich die weitere Möglichkeit, annähernd die Oberfläche des reinen Kolloidtons für das Gramm zu berechnen, wenn man die von Given und mir ausgeführten Messungen[6]) über den Durchmesser desselben berücksichtigt. Bei Annahme von Würfelform der Kolloidteilchen ergab sich für dieselben ein annähernder mittlerer Durchmesser von 0,140 μ. Das bedingt für das Einzelteilchen eine Oberfläche von

---

[1]) Den Quotienten aus Oberfläche und Volumen.

[2]) P. Vageler, Fühlings Landwirtsch. Ztg. **61**, 77 (1912).

[3]) K. Pfeiffer, Landw. Jahrb. **41**, 47 (1911).

[4]) P. Ehrenberg, Fühlings Landw. Ztg. **63**, 725 (1914); **64**, 233 (1915).

[5]) S. Odén, Koll. Zeitschr. **18**, 45 u. f., (1916).

[6]) G. Given, Inauguraldissertation (Göttingen 1915) 27; P. Ehrenberg und G. Given, Koll.-Zeitschr. **17**, 35 (1915).

0,1176 Quadrat-μ, oder für 10^{12} Einzelteilchen 0,1176 qm. Da im Liter $7,683 \cdot 10^{12}$ Einzelteilchen vorhanden sind, würde das Liter von uns benutzter Kolloidtonlösung 0,1176 . 7,683 qm Oberfläche seiner Teilchen aufweisen, und da es 0,0429 g Kolloidton enthielt, $\frac{0,9035}{0,0429}$ gleich 21 qm fürs Gramm. Auch hier finden wir demnach Größenverhältnisse, die weit von denen Mitscherlichs abweichen, und sich den älteren Feststellungen um so mehr annähern, als man nur 1,5 % Kolloidton in sehr schweren Tonböden annimmt. Durch unsere Zahl für die Oberfläche des Grammes Kolloidtons können wir auch S. Odéns Wert für seinen roten Tiefseeton ergänzen. Für die nicht berücksichtigten 0,04 g würden wir, unter der zweifellos noch zu weit gehenden Annahme, daß sie sämtlich als Kolloidton anzusehen gewesen wären, noch 0,8 qm zu seiner Zahl hinzuzufügen haben, so daß die Oberfläche des roten Tiefseetons sich somit im Höchstfall auf 2,5 qm gestellt haben würde. Ebenso berechnet sich, unter Heranziehung von Werten von G. I. Parks, die Oberfläche von sehr strengem Ton auf 1,4 qm.[1])

Daß man sich mit solchen Werten nicht allzu weit von den Tatsachen entfernen wird, geht auch aus der Annahme von S. Lagergreen[2]) hervor, daß 1 g Tierkohle eine Oberfläche von 4 qm besäße.

c) Die adsorbierte Wasserschicht.

Die Größe der Oberfläche, welche wir für ein Gramm Erdboden annehmen können, steht nun für viele, die Bodenkolloide betreffenden Überlegungen in engem Zusammenhang mit der Dicke der Wasserhülle, welche wir unter bestimmten Umständen den Teilchen zuschreiben, und zwar ganz besonders dann, wenn dieselben Wasserdampf adsorbiert haben. Rodewald nahm seinerzeit an, daß Erdboden und ähnliche Stoffe bei der Aufnahme des hygroskopisch gebundenen Wassers sich zunächst nur mit einer Molekülschicht Wasser umgeben.[3]) Auf Grund dieser Annahme hat dann Mitscherlich seine Oberflächenwerte berechnet.[4]) Da diese jedoch als unzutreffend abzulehnen sind, so gerät auch H. Rodewalds Annahme bezüglich der einen Molekülschicht Wasser, die sich auf den

[1]) P. Ehrenberg, Fühlings Landw. Ztg. **63**, 729 (1914).

[2]) S. Lagergreen, zit. bei van Bemmelen, Die Absorption (Dresden 1910) 410.

[3]) H. Rodewald, Zeitschr. phys. Chem. **33**, 593 (1900); Landw. Jahrbücher **31**, 675 (1902).

[4]) A. Mitscherlich, Bodenkunde, 1. Aufl. (Berlin 1905) 58 u. f.; ebenda 2. Aufl. (Berlin 1913) 60 u. f., aber kürzer.

Teilchen im Zustande der Hygroskopizität abgelagert haben soll, ins Schwanken. Schon P. Vageler hat außerdem nicht eine, sondern 200 Molekülschichten Wasser für den Zustand der Hygroskopizität angenommen,[1]) womit er vermutlich über das Ziel hinaus schießt.

Rechnerische und anderweitige Feststellungen, welche uns über die Dicke der Wasserhüllen der Teilchen Auskunft geben können, liegen nun noch von einigen anderen Seiten vor. Zunächst kommt H. Remy zu der Überzeugung, daß die Ionen, wenigstens soweit man sie als wenig hydratisiert annimmt, bereits Wasserhüllen von der Dicke einer Molekülschicht tragen.[2]) Das bedeutet zunächst eine weitere Ursache, gegen H. Rodewalds Ansicht Zweifel zu hegen. Denn wenn bereits die Ionen, und zwar schon die wenig hydratisierten, mit einer Molekülschicht Wasser umkleidet sind, so muß unbedingt für den Zustand der Hygroskopizität, bei einer außerordentlich viel geringeren Zerteilung des Stoffes, mit dickeren Wasserhüllen gerechnet werden. Hierfür sprechen dann noch die Annahmen von E. Hatschek, der die Adsorptionshüllen für wäßrige Suspensionen zu $8{,}7 \cdot 10^{-7}$ mm bestimmte.[3]) Das würde der zehnfache Molekulardurchmesser des Wassers sein, wenn man diesen mit E. Exner[4]) und Slotte[5]) zu $8{,}45 \cdot 10^{-8}$ mm ansetzt. C. Barus und E. A. Schneider glaubten,[6]) die Wasserhüllen der feinsten Körperteilchen zu $5 \cdot 10^{-5}$ bis unter $9 \cdot 10^{-6}$ mm annehmen zu können, eine Berechnung, die freilich bereits älterer Zeit angehört. G. Backer kommt für Wasser dagegen in neuesten Feststellungen auf eine Dicke der sog. Kapillarschicht, das heißt, der Übergangsschicht von Flüssigkeit zu Dampf, von etwa 6 Molekülschichten, gleich $1{,}6 \cdot 10^{-6}$ mm. Da für den Zustand der Hygroskopizität aber, wie ich ausführen konnte, mindestens zur Dicke der Kapillarschicht die Dicke der nach Hatschek für wäßrige Suspensionen bestehenden Hüllen hinzutritt, so gelangt man zu Hüllen von $2{,}5 \cdot 10^{-6}$ mm Dicke, bzw. auf Schichten von rund 10 Wassermolekülen,[7]) die ja natürlich nicht eng aneinander liegend gedacht werden können. Auch andere Ermittelungen passen sich diesem Werte angenähert an. So konnte W. Rickenbacher die geringste Schichtdicke von Seifenhäutchen zu $7{,}3 \cdot 10^{-6}$ mm

[1]) P. Vageler, Fühlings Landw. Ztg. **61**, 77 (1912).
[2]) H. Remy, Zeitschr. physik. Chem. **89**, 483 u. 567 (1915).
[3]) E. Hatschek, Koll.-Zeitschr. **11**, 288 (1912).
[4]) E. Exner, Ber. Kais. Ges. Wissensch. Wien **91** (2e), 850 (1885).
[5]) Slotte, Act. Soc. Scient. Fennic. **40**, Nr. 3 (1910).
[6]) C. Barus u. E. A. Schneider, Zeitschr. phys. Chem. **8**, 288/9 (1891).
[7]) Vgl. P. Ehrenbergs Berechnungen a. a. O. 234.

feststellen.[1]) Da hier nach zwei Seiten Kapillarschichten vorhanden sein müssen, und außerdem eine durch ihre Zähigkeit haltbare, somit voraussichtlich die Dicke einer Wasseradsorptionsschicht übertreffende Mittelschicht, so würde dieser Wert nicht schlecht zu der von mir gemachten Annahme von etwa 2,5 . 10^{-6} mm bzw. 10 Wassermolekülschichten für die Hüllen bei Wasseradsorption durch Bodenteilchen im Zustande der Hygroskopizität passen. Auch abgesehen von den hier erwähnten Tatsachen würde wohl noch die allgemein angenommene Anschauung von der Assoziation der Wassermoleküle bei niederen Wärmegraden der Ansicht von H. Rodewald etwas entgegenstehen.[2]) — Wie weit übrigens unter Umständen an die oben angenommene, stärker festgehaltene Wasserschicht sich noch weniger verdichtete Schichten anschließen, bis zuletzt der benetzte Körper keinen Einfluß mehr auf das ihn umgebende Wasser ausübt, ist wohl noch nicht ausreichend der Feststellung zugänglich. Nach neueren Angaben von R. Zsigmondy[3]) üben kolloide Goldteilchen Anziehungswirkungen auf die doppelte bis dreifache Länge ihrer Radien hin aus, falls sie von elektrischen Anziehungs- und Abstoßungskräften frei, das heißt, entladen sind. Es läge hiernach ja durchaus nahe, auch bei anderen Teilchen nicht unerhebliche Anziehungsbereiche ähnlicher Art anzunehmen, wobei freilich die größere Dichte der Goldteilchen bei anderen Teilchen durch entsprechend stärkere Größenausdehnung aufgewogen sein müßte, soll die durch die Masse der Teilchen ausgeübte Anziehung etwa der gleichen Art sein. Auch die Verhältnisse bei Feststellung der geringsten Dicke von Flüssigkeitshäutchen lassen es nicht unwahrscheinlich werden, daß auch über die oben erwähnte, verdichtete Wasserschicht hinaus noch weitere in allmählicher Abnahme der Dichtigkeit möglich sind. So fand K. T. Fischer bei einer Glyzerin-Wasserlösung eine geringste Häutchendicke von 2,5 bis 420 . 10^{-6} mm,[4]) J. A. Plateau für Seifenlösung 113,5 . 10^{-6} mm,[5]) P. Drude bei Seifenlösung 17 . 10^{-6} mm,[6]) A. W. Reinold und A. W. Rücker[7]) desgleichen 12 bzw. 22,1 . 10^{-6} mm,

---

[1]) W. Rickenbacher, Kolloidch. Beihefte **8**, 168 (1916).

[2]) Man vergleiche dazu auch die oben, 263/4 gemachten Angaben.

[3]) R. Zsigmondy, Vortrag in der Bunsen-Gesellschaft 1916. Nach dem Bericht Zeitschr. angew. Chem., wirtschaftl. Teil **30**, 55 (1917).

[4]) K. T. Fischer, Wiedemanns Annal. Phys. u. Chem., N. F. **68**, 414 (1899).

[5]) J. A. Plateau, Poggendorffs Annal. Phys. u. Chem. **114**, 606 (1861); Statique liquid. soum. forces molecul. **1**, 210 (Paris 1873).

[6]) P. Drude, Wiedemanns Annal. Phys. u. Chem. **43**, 158 (1891).

[7]) A. W. Reinold und A. W. Rücker, Proceed. Roy. Soc. London **26**, 334 (1877). Phil. Transactions Roy. Soc. London **171**, (2) 447 (1881); **174**, (2), 645 (1883); **184**, A, 505 (1893).

W. Rickenbacher[1]) 12 bzw. $7,3 \cdot 10^{-6}$ mm, alles weit über die oben angeführte Grenze von $2,5 \cdot 10^{-6}$ mm hinausliegende Werte, die natürlich durchaus nur mittelbar mit der Dicke adsorbierter Wasserhäutchen in Beziehung gebracht werden dürfen. Mit der Zeit wird gewiß auch an Stelle der hier noch herrschenden Unsicherheit die Verfügung über ein sicheres Zahlenmaterial treten.

d) Triebsand.

Die oben S. 267/68 erhaltenen Schlußfolgerungen werden dazu dienen können, die Erscheinung des Triebsandes besser verständlich zu machen. Bekanntlich handelt es sich hierbei um nasse Stellen im Dünensand, in denen Mensch und Tier wie in Wasser oder besser gesagt wie in einem Sumpf versinken können. G. Behrendt[2]) hat dies ja nach eigenen Erlebnissen ganz dramatisch geschildert. Außerdem danken wir ihm die Feststellung, daß Triebsand sich bilden kann: einmal, wenn im Sande infolge hydrostatischen Druckes Wasser aufsteigt, zweitens, wenn Wasser von der Seite Sand durchströmt und endlich drittens, wenn Sand in Wasser hineingleitet.[3])

Nach dem Vorigen, besonders nach W. Springs Untersuchungen würden die Adsorptionshüllen ein so sehr lockeres Lagern der Sande allein auf die Dauer nicht ermöglichen können. Schon die Zeit müßte hier zu festerer Lagerung führen. Ganz anders, wenn ein auch nur sehr schwacher Auftrieb von Wasser vorhanden ist. Und nur um einen solchen kann es sich handeln, da stärkerer Wasserauftrieb es voraussichtlich zu einem Überfluten der Oberfläche kommen lassen müßte, wovon bei den Schilderungen von G. Behrendt[4]) nicht die Rede ist. Ein solcher sehr schwacher Auftrieb wird aber ausreichen, die sonst allmählich sich äußernden Wirkungen der Schwerkraft auf den Sand und das damit verbundene Verdrängen des weniger stark verdichteten Teils der Adsorptionshüllen zu beseitigen. Auch dieser wird dann dauernd, oder wenigstens längere Zeit hindurch, seine Wirkungen auf die Lagerung der Sandkörnchen ausüben können.

---

[1]) W. Rickenbacher, Kolloidchem. Beihefte **8**, 168 (1916).

[2]) G. Behrendt, Schriften der Physikalisch-Ökonomischen Gesellschaft Königsberg **9**, 146, bes. 151 (1868).

[3]) G. Behrendt, a. a. O. 152.

[4]) Nach G. Behrendt ist der Sand über Triebsandstellen dunkel gefärbt oder auch lauchgrün gefleckt. Wahrscheinlich wird dies durch lebhafte Flora von Kleinlebewesen bedingt, während durch ständiges, infolge der Färbung wohl noch vermehrtes Verdunsten von Wasser an der Oberfläche Platz für das neu aufsteigende Wasser geschaffen wird, von dem wohl auch ein Teil seitlich der Triebsandstelle im Sande versickern mag.

So werden diese, durch ziemlich dicke Wasserhüllen voneinander getrennt, mit ihren Hüllen zusammen sich als Flüssigkeit betätigen, in die Gegenstände und Lebewesen versinken können. Daß diese Gedankengänge nicht unrichtig sein können, beweist die Mitteilung von G. Behrendt, daß man durch Umrühren mit Stangen die Gefahren der Triebsandstellen beseitigen könne und daß Erschütterungen ähnlich auf sie wirkten. Es handelt sich dann eben darum, daß mechanisch die nur wenig Widerstand leistenden äußeren Schichten der Adsorptionshüllen durchbrochen und die Sandkörnchen in engere Lagerung gebracht werden. In dieser bieten sie wohl auch dem aufsteigenden Wasserstrom nicht mehr wie früher die durch die ganze Adsorptionshülle vergrößerte Oberfläche[1]) und werden so auch weniger leicht von ihm getragen.

In ganz ähnlicher Weise ist die Bildung von Triebsand bei seitlichem Wasserzufluß zu erklären. Auch hier wird die Wirkung der Schwerkraft auf den Sand durch den seitlichen Druck des strömenden Wassers vermindert, dem der Sand wahrscheinlich nur sehr wenig folgen kann. Und ist die Verringerung der Schwerkraftwirkung ausreichend, um für längere Zeit die Beseitigung auch der nur locker gebundenen, äußeren Adsorptionshüllen zu verhindern, so kommt es eben auch hierbei zur Bildung von Triebsand.[2])

Etwas schwieriger liegt wohl die Erklärung im dritten Falle. Was soll hier die Schwerkraft für kürzere oder längere Zeit ausschalten? Zunächst könnte man ja auch in dem Wasser, in das der Sand hineingleitet, irgendwelche Strömungen nach oben[3]) hin annehmen. Aufquellendes Wasser, durch Temperaturänderungen bedingte Strömungen, die der etwa von der Sonne erwärmte Sand selbst zum Teil veranlassen könnte, wären hier anzuführen. Kleinlebewesen, besonders Algen, welche die Sandteilchen überziehen, vermögen durch Gasausscheidungen u. dgl.[4]) den Auftrieb zu vermehren. Besonders aber könnten wohl Gashüllen der Sandkörnchen selbst in Betracht kommen. Einmal werden diese, die ja doch nur in trockenem Zustande in das Wasser hineingeweht werden

[1]) Solche Adsorptionshüllen von Flüssigkeit werden von den sie tragenden festen Teilchen bekanntlich mitgeschleppt, und die Vorgänge stellen sich in vieler Hinsicht einfach so dar, als wenn die Teilchen selbst entsprechend größer wären. Vgl. auch Wo. Ostwald, Grundriß Kolloidchemie, 2. Aufl. 181 (Dresden 1911); ferner E. Hatschek, Koll.-Zeitschr. **11**, 283 (1912).

[2]) E. Ramann, Zeitschr. deutsch. Geolog. Gesellsch. **67**, 292 (1915), scheint sich dieser Erklärung im wesentlichen anzuschließen.

[3]) Wi. Ostwald, Forschungsber. Biolog. Station Plön **10**, 27 (1903).

[4]) Wi. Ostwald, Forschungsber. Biolog. Station Plön **10**, 39 (1903).

können, die sie umhüllenden Gasschichten durchaus nicht alsbald verlieren. Hat doch W. Spring nachgewiesen, daß Sandkörnchen in Flüssigkeiten Gashüllen wenigstens einige Zeit lang tragen können.[1]) Hierdurch würde bereits ein sehr sanftes und langsames Herabsinken der Sandteilchen bedingt werden, so daß Erschütterungen der untenliegenden Sandschicht vermieden würden. Dann aber könnten in der Tiefe des Wassers verwesende Pflanzenreste immer wieder von neuem Gase liefern, besonders CO_2 und CH_4, welche die adsorbierten Gasschichten um die Körnchen erneuern und diese so tragen helfen.[2]) So würde auch hier manche Erklärungsmöglichkeit auf dem bisher beschrittenen Wege vorliegen. —

Noch eine mit dem Triebsand zusammenhängende Erscheinung leitet uns hier zu weiteren, mit der Adsorption von Flüssigkeitshüllen zusammenhängenden Ausführungen über.

G. Behrendt berichtet davon, daß über den Triebsandstellen sich eine ziemlich feste, einige Zoll starke Rinde befindet; ist diese einmal durchstoßen oder durchbrochen, so findet man so gut wie keinen Widerstand.[3]) Über die außergewöhnliche Festigkeit dieser auf dem schwimmenden Sande liegenden Rinde erzählt er dann aus eigener Anschauung weiter, daß beim Darüberfahren mit einem Wagen „der Boden, ohne zu bersten, sich gut 12—14 Zoll hoch zwischen und vor den breiten Rädern aufbog, so daß sich der Boden in einer sicher gut fußhohen Wellenbewegung befand".[4])

Gewiß ein Beispiel, man möchte sagen, beispielloser Festigkeit einer dünnen Sandrinde und wohl noch mehr außerordentlicher Zähigkeit! Auch hier mag vielleicht die Betrachtung der Adsorption von Wasserhüllen uns eine Erklärung geben.

Während in den tieferen Triebsandschichten die Sandkörnchen mit ihren Adsorptionshüllen von dem sehr schwach aufsteigenden Wasserstrom getragen werden und sich dabei noch kaum so weit nähern, daß sie mit den äußersten, nur sehr schwach verdichteten Schichten ihrer Wasser-

[1]) W. Spring, Bull. Soc. Belg. Geol. **17**, Mémoires 27 (1903).

[2]) W. Spring, ebenda 25; H. Potonié, Naturw. Wochenschr. N. F. **10**, 658 (1911); weiter K. A. Mickle, Eng. a. Min. Journ. **94**, 75 (1912)· R. E. Liesegang, Koll.-Zeitschr. **16**, 18 (1915).

[3]) G. Behrendt, Schrift. Physik.-Ökon. Gesellsch. Königsberg **9**, 146 (1868).

[4]) Ebendort 151. Ganz ähnliche Erscheinungen kennt man ja bei dünnem Eis, das auf Wasser ruht, und ebenso bei den filzartigen Pflanzengeflechten zuwachsender Seen, die unter sich auch freies Wasser haben. Mir selbst sind sie beide aus meiner Kindheit in der Havelniederung gut bekannt.

hüllen aufeinander ruhen, wird sich dies Verhältnis in der Oberfläche des Triebsandes ändern. Hier wirkt die Verdunstung wasservermindernd, die äußeren, nur sehr schwach gebundenen Teile der Wasserhüllen verschwinden und nur die stärker verdichteten werden erhalten bleiben. Natürlich rücken dadurch die Sandkörner näher zusammen und verlieren zunächst die Eigenschaft, bei jedem Druck wie Wasser einfach zur Seite zu weichen. Die Oberflächenschicht wird fester. Wir müssen aber noch weiter gehen. Mit dem Verlust eines größeren Teiles der Flüssigkeitshülle werden die in den oberflächlichen Lagen des Triebsandes befindlichen Körner auch nicht mehr in gleicher Weise von dem aufsteigenden Wasserstrom getragen werden. Der Druck der Schwerkraft zwingt sie nun näher zusammen, während sie nach unten zu, wo mehr und mehr die größeren Wasserhüllen noch erhalten sind und daher der Auftrieb stärker wirken kann, doch noch nicht versinken, zumal wohl auch noch das Sand-Wassergemisch dort wie eine dichtere Flüssigkeit wirkt und leichtere Gegenstände mit größerer Oberfläche leidlich gut trägt.[1]) Infolge der Schwerkraftwirkung werden sich aber die Sandkörnchen der Oberfläche einander so weit nähern, daß ihre übriggebliebenen, stärker verdichteten Flüssigkeitshüllen ineinander übergehen,[2]) so daß wir nun gewissermaßen eine von einer dünnen, aber zusammenhängenden Flüssigkeitshaut benetzte Sandmenge vor uns haben. Daß aber solche, gerade eben mit einer Flüssigkeitsschicht bestimmter Dicke überzogenen Sande eine ganz außerordentliche Festigkeit besitzen, lehren Untersuchungen von W. Spring;[3]) auch Wo. Ostwald hat darauf hingewiesen.[4])

[1]) Vgl. oben auch 87. Daß auch höhere Konzentrationen die innere Reibung von Aufschwemmungen stark erhöhen können, lehrt das Verhalten von Schlämmen, d. h. von festen dispersen Phasen mit einer verhältnismäßig kleinen Menge flüssigen Dispersionsmitteln. Wo. Ostwald, Grundriß Kolloidchemie, 1. Aufl. (1909) 198.

[2]) Ähnliche Anschauungen bei C. Barus und E. A. Schneider, Zeitschr. phys. Chem. **8**, 289 (1891).

[3]) W. Spring, Bull. Soc. Belg. Géol. **17**, Mémoires 18—19 (1903). Solcher Sand gab dem Druck der Hand nicht nach und ließ sich in 1 mm dicke Stücke schneiden, die wie Tonscheiben aufrecht stehen blieben, allerdings nicht biegsam waren. Bei dem Triebsand haben wir aber, der unten befindlichen Flüssigkeit halber, besondere Bedingungen, so daß die Brüchigkeit von W. Springs dünnen Sandscheiben unseren Vergleich nicht stören dürfte. Einmal ist die biegsame Oberflächenschicht bei Triebsand doch mehrere Zoll dick, und dann zeigt das an sich doch durchaus brüchige Eis beim Liegen auf Wasser die gleichen Erscheinungen, wie oben schon erwähnt.

[4]) Wo. Ostwald, Grundriß Kolloidchemie, 2. Aufl. (Dresden 1911) 106 u. f., 181 u. 182.

Abgesehen vom Triebsand zeigt sich die Bedeutung der von Sandkörnchen stark adsorbierten Wasserhüllen wohl auch bei der bekannten Erscheinung, daß festgestampfter, nasser Sand sehr schwer für Wasser, das auf ihn gegossen wird, durchlässig ist.[1])

e) Krümelbildung bei Sand.

Doch hier wird besonders anzuknüpfen sein an die soeben behandelte Erscheinung der Festigkeit von Sand-Wassergemengen, die so viel Wasser enthalten, daß stark verdichtete, ineinander übergehende Wasserhüllen vorhanden sind. Dieser Fall muß unter anderen auch vorliegen, wenn sich aus Sand durch Anfeuchtung Krümel bilden. Ich greife auf das früher Gesagte zurück[2]) und habe hier dazu nur zu betonen, daß die Tatsache, daß man auch praktisch absolut reinem Sande eine länger andauernde Krümelstruktur nur durch Befeuchtung verleihen kann,[3]) zweifellos mit diesem Vorhandensein stärker verdichteter Wasserhüllen um die einzelnen Körnchen, die ineinander übergehen, zusammenhängen dürfte. Denn die verdichtete Flüssigkeit wird natürlich das Zusammenhalten einzelner sich sehr nahe liegender Sandkörnchen fördern, wenn sie diese als zusammenhängende Schicht umgibt.[4]) Wir können so vielleicht die Ansicht aufstellen, daß jedes einzelne Krümel eines Krümelstruktur aufweisenden reinen Sandes sich auffassen läßt als eine Anzahl von Sandkörnchen, die durch eine zusammenhängende Schicht von in nächster Nähe der Körnchenoberfläche verdichtetem Wasser zusammengehalten und verbunden wird. Wieweit hieran für die in der Natur vorkommenden Sandarten auch noch in dem Sande vorhandene Bodenkolloide Anteil nehmen, wieweit gelegentlich oder häufig auch ausgeschiedener kohlensauerer Kalk als Bindemittel wirkt, läßt sich nur im einzelnen von Fall zu Fall beurteilen.[5])

[1]) G. Behrendt, a. a. O. 154.

[2]) Vgl. oben 114.

[3]) Vgl. H. Hellriegel, Arb. Deutsch. Landw.-Gesellsch. **34**, 12 (1898); natürlich gilt das nur für Verhältnisse, in denen der Sand nachher vor stärkerem Regen geschützt ist.

[4]) Ähnliche Ansichten bei J. R. Lorenz von Liburnau, geolog. Verh. Grund u. Boden (1883). Vgl. C. V. Boys, Seifenblasen, 2. Aufl., 13 (Leipzig 1913).

[5]) Über die Bedeutung der Bodenkolloide im engeren Sinne für die Bildung der Krümelstruktur im Ackerboden vgl. oben 144, und unten noch 324 u. f.

3. Adsorption von gelösten Stoffen.

a) Theoretisches.

Die Frage der Adsorption überhaupt, besonders aber ihrer hier zu behandelnden Art, ist zurzeit wohl auch in ihren Grundzügen noch nicht als gelöst anzusehen.[1]) So kann man z. B. noch in jüngster Zeit in demselben Bande der zuständigen Fachzeitschrift Abhandlungen finden, die mit gleicher Schärfe sehr voneinander abweichende, man kann wohl fast sagen gegensätzliche Ansichten über den Adsorptionsvorgang bringen.[2]) Es muß daher hier besonders betont werden, daß bei Ermangelung zweifelloser Klarheit auf diesem Gebiete zur Erklärung der für den Bereich der Bodenkolloide wichtigen Vorgänge diejenigen theoretischen Anschauungen herangezogen wurden, welche die Verhältnisse am besten zu beleuchten schienen. Wie auf anderen Gebieten, so wird voraussichtlich gerade hier die fortschreitende Erkenntnis mit der Zeit Änderungen und Verbesserungen bringen.

aa) S. Lagergreens Anschauung.

Zunächst knüpfe ich an die bereits dargestellten Vorgänge der Adsorption von Flüssigkeiten an und an die Erscheinung, daß sich dabei ein verdichtetes Flüssigkeitshäutchen direkt an der Oberfläche der feinsten Sandkörnchen beziehungsweise Bodenkolloide bildet. S. Lagergreen hat auf diesem Vorhandensein einer verdichteten, unter starkem Druck stehenden Flüssigkeitshaut, welche die adsorbierenden Stoffe umgibt, eine Theorie der Adsorption aufgebaut,[3]) die sich eben wesentlich nur auf den Druckunterschied zwischen der umgebenden Flüssigkeit und dieser verdichteten Flüssigkeitshaut stützt. Es liegt nahe, daß Stoffe, deren Aufnahme[4]) in eine Flüssigkeit durch Druck gefördert wird, sich zwischen der umgebenden Flüssigkeit und der durch Druck verdichteten, die Teilchen umgebenden Flüssigkeitsschicht so verteilen müssen, daß sie sich in der letzteren anreichern. So kommt es also zu der Erscheinung, daß die adsor-

---

[1]) Vgl. die gleiche Ansicht bei A. Euken, Ber. deutsch. Phys. Gesellsch. **16**, 345 (1914).

[2]) Zeitschr. physik. Chem. **74**, J. Homfray 291, A. Titoff, 677, G. C. Schmidt 735—736 (1910).

[3]) S. Lagergreen, Bihang K. Svenska Sv. vet. Akad. Handl. **24** (2), Nr. 4 u. 5 (1898); nach W. Nernst, Theoret. Chemie, 5. Aufl. (Stuttgart 1907) 128.

[4]) Es ist nach Wi. Ostwald, Zeitschr. physik. Chem. **32**, 175 (1900), nicht ganz richtig, hier von Löslichkeit zu sprechen. Immerhin mag der Leser hier zur besseren Verständlichkeit auch den Ausdruck „Löslichkeit" statt des oben benutzten Wortes: „Aufnahme" anwenden.

bierenden Stoffe, also etwa äußerst feine Sandteilchen,[1]) noch mehr aber die eigentlichen Bodenkolloide, einen Teil des in der umgebenden Flüssigkeit gelösten Stoffes an sich zu ziehen scheinen, weil dieser sich in den die Teilchen umgebenden verdichteten Flüssigkeitsschichten anreichert und diese Flüssigkeitsschichten, da sie an den Teilchen unmittelbar anhaften, gewissermaßen zu ihnen gehören. J. Thoulet nahm schon lange vor Lagergreen an, daß aufgeschwemmte Teilchen in Salzlösungen einen Flüssigkeitsmantel mit erhöhter Konzentration trügen, und wollte, da seinetwegen dann die Teilchen zum Niedersinken kämen,[2]) hierdurch sogar den Ausflockungsvorgang erklären. Die Ansicht S. Lagergreens, die ich schon bei früheren Besprechungen[3]) für diese Ausführungen zugrunde legte, hat ziemlich weitgehende Zustimmung gefunden. Es sind hier die Namen W. Nernst,[4]) auch Wi. Ostwald[5]) H. Freundlich[6]) und andere zu nennen. Doch sind auch Widersprüche mit anderweitigen Untersuchungen[7]) vorhanden.[8]) Ein hierher gehöriger Versuch A. Mitscherlichs, auf Grund dessen dieser Forscher die Adsorption, soweit nicht chemische Bindungen in Betracht kommen als für den Boden bedeutungslos hinstellen zu können glaubt,[9]) ist bereits früher von mir als dazu nicht ausreichend bezeichnet und kritisch besprochen worden.[10]) Da er aber in neuerer Zeit gleichwohl unverändert Benutzung gefunden hat,[11]) so mag noch kurz darauf eingegangen werden.

A. Mitscherlich hat bei diesem Versuch zunächst weder gleiche Konzentrationen der Kalisalpeterlösung, die ihm zu dem Versuche diente, angewendet, noch gleiche Bodenmengen, noch endlich gleiche Flüssigkeitsmengen.[12]) Eine Vergleichbarkeit der erhaltenen Zahlen untereinander

---

[1]) Reiner, nicht besonders ausgewählter Sand wird allerdings eine leicht nachweisbare Adsorption kaum veranlassen, er ist hier nur als Beispiel benutzt.

[2]) J. Thoulet, Compt. rend. **99**, 1072 (1884); Beibl. **9**, 234 (1885).

[3]) P. Ehrenberg, Beweg. Ammoniakstickst. in Natur (Berlin 1907) 173.

[4]) W. Nernst, Theoret. Chemie, 5. Aufl. (Stuttgart 1907) 128.

[5]) Wi. Ostwald, Zeitschr. physik. Chem. **32**, 175 (1900).

[6]) H. Freundlich, Kapillarchemie (Leipzig 1909) 286.

[7]) Man vgl. H. Lachs und L. Michaelis, Zeitschr., Elektrochem. **17**, 1 (1911), und E. Hägglund, Koll.-Zeitschr. **7**, 21 (1910); jedoch ebenfalls R. O. Herzog und J. Adler, Koll.-Zeitschr. **2** (2), III, (1908) **8**, 209 (1911); T. Oryng, ebendort **13**, 14 (1913).

[8]) Wo. Ostwald, Grundr. Kolloidchemie, 1. Aufl. (Dresden 1909) 406; dort Literatur. E. Tezner und J. Roska, Zeitschr. physiol. Chem. **56**, 501 (1908).

[9]) A. Mitscherlich, Bodenkunde, 1. Aufl. (Berlin 1905) 261/262.

[10]) P. Ehrenberg, Beweg Ammoniakstickst. in Natur (Berlin 1907) 175.

[11]) A. Mitscherlich, Bodenkunde, 2. Aufl. (Berlin 1913) 196.

[12]) Vgl. A. Mitscherlich, Bodenkunde, 1. Aufl. 263 bzw. 2. Aufl. 197.

wird somit ohnehin kaum vorhanden sein, ganz abgesehen von der ja äußerst verschiedenen Zusammensetzung der von ihm benutzten Bodenproben, die vom Moorboden über Sandböden zu strengem Tonboden führen. Da ferner, worauf ich bereits früher hinweisen konnte, sich A. Mitscherlich im Irrtum befindet, wenn er annimmt, daß Kalisalpeter, wie er ihn benutzte, sich im Boden chemisch indifferent zeigt[1]) — bakterielle Salpeterzerstörung wie Basenaustausch können mit mehr oder minder großer Wahrscheinlichkeit angenommen werden, — er weiter aber auch die Veränderung des Kaligehaltes in seinen Lösungen nicht analytisch, sondern nur durch Trockensubstanzbestimmung ermittelt,[2]) so kann ich wohl mit Recht bei meiner früher geäußerten Ansicht verbleiben und den Versuch als nicht beweiskräftig erklären. Will man ihn aber doch heranziehen, so ergibt er eher einen Beweis für eine Adsorption als gegen diese.

Ich konnte nämlich bereits früher darauf hinweisen,[3]) daß die auch oben dargelegte Ansicht S. Lagergreens, wenn man sie auf den Erdboden anwendet, hier ebenso wie in anderen Fällen zwei Möglichkeiten der Adsorption ergeben muß.[4]) Denn wenn Salze, deren Aufnahme durch Wasser mit steigendem Druck vermehrt wird, sich in der verdichteten Wasserhülle der Teilchen ansammeln, so muß bei Salzen, deren Löslichkeit durch Druck vermindert wird, das Entgegengesetzte eintreten. Die verdichtete Wasserschicht der Teilchen muß an dem Salz verarmen, dieses sich dagegen in etwas größerer Menge, als zu erwarten, in der umgebenden Lösung vorfinden. Wir hätten dann von einer negativen Adsorption zu sprechen.[5])

Tatsächlich ergibt nun eine genaue Durchprüfung des erwähnten Versuches von A. Mitscherlich, daß dabei negative Adsorptionen zur Erscheinung kommen, wie ich bereits an anderem Orte zeigen konnte.[6]) Dabei ist noch darauf hinzuweisen, daß die früher von mir als gegen die Annahme einer negativen Adsorption sprechend bezeichnete geringe Wirkung des Tonbodens sich dadurch in ihrer Bedeutung wohl noch abschwächen ließe, daß gerade dieser Boden mit der ungleich größten Flüssigkeitsmenge und einem hohen Gehalt an Kali-

[1]) Ebendort, 1. Aufl. 262; noch deutlicher 2. Aufl. 196.

[2]) Näheres über diese Beanstandungen P. Ehrenberg, Beweg. Ammoniakstickst. in Natur (Berlin 1907) 176.

[3]) Vgl. oben 24—27.

[4]) W. Nernst, Theoret. Chemie, 5. Aufl. (Stuttgart 1907) 128.

[5]) Vgl. dazu auch K. Estrup, Koll.-Zeitschr. **11**, 8 (1912); T. Oryng, ebenda **13**, 14 (1913); A. de Dominicis, G. Marmano und L. Diateria, Staz. sper. agr. ital. **47**, 449 (1914). D. Schmidt-Walter, Koll.-Zeitschr. **14**, 251 (1914).

[6]) P. Ehrenberg, Beweg. Ammoniakstickst. in Natur (Berlin 1907) 176.

salpeter darin behandelt worden ist.[1]) Wenn man demnach die Untersuchungen A. Mitscherlichs überhaupt als gültig ansieht, kann man aus ihnen wohl nur den Schluß ziehen, daß negative Adsorption des Kalisalpeters bei ihnen stattgefunden hat.[2]) Sie sprechen also nicht gegen S. Lagergreen. Wir hätten daher dessen Ansichten als Erklärung für die Verhältnisse bei der Adsorption im Boden heranzuziehen. Positive Adsorption ist, wie ich auf Grund einiger Versuche schon früher ausführen konnte, für Ammoniumkarbonat, wie Ammoniumphosphat, besonders aber für freies Ammoniak zu erwarten. Dagegen wird Chlorammonium, Chlorkalium, Natriumbisulfat, Chlornatrium negativ adsorbiert werden müssen.[3]) Wo. Ostwald nimmt an, daß auf Grund der S. Lagergreenschen Versuche auch bei Lösungen von Nitraten, Chloraten, Jodiden, Bromiden usw. negative Adsorption zu erwarten wäre.[4]) Dem würde entsprechen, daß z. B. Ammoniumnitrat bei der Auflösung starke Ausdehnung zeigt,[5]) daher durch Druck in seiner Löslichkeit vermindert werden muß. Ebenso, daß A. de Dominicis und seine Mitarbeiter für Cl' und NO_3 öfters negative Adsorption feststellten.[6]) Hiermit steht aber nicht in Einklang, daß nach Angaben von H. Freundlich[7]) S. Lagergreen — dessen eigentliche Arbeit mir leider nicht zur Verfügung steht — bei einer ganzen Reihe von Nitraten, so z. B. des Ammoniums, eine zwar sehr geringe, aber positive Adsorption beobachtete. Es scheint demnach auf diesem Gebiete noch nicht die erwünschte Eindeutigkeit zu herrschen.[8]) Dagegen mag noch nachgetragen werden, daß auch nach S. Lagergreen die Chloride einer Reihe von Leichtmetallen,[9]) ebenso auch

[1]) Vgl. A. Mitscherlich, Bodenkunde, 2. Aufl. (Berlin 1913) 197.

[2]) Daß eine solche an sich nicht unwahrscheinlich ist, geht daraus hervor, daß sie auch von J. M. van Bemmelen bei Metazinnsäure und Kaliumnitrat beobachtet wurde. Vgl. Absorption (Dresden 1910) 402—404, bzw. Zeitschr. anorg. Chem. **23**, 111 (1900); derselbe: Absorption 416 bzw. Zeitschr. anorg. Chem. **23**, 321 (1900).

[3]) P. Ehrenberg, Beweg. Ammoniakstickst. in Natur (Berlin 1907) 173.

[4]) Wo. Ostwald, Grundriß Kolloidchemie (Dresden 1909). 407.

[5]) L. Spiegel, Stickstoff (1903) 426.

[6]) A. de Dominicis, G. Marmano, L. Diateria, Staz. sper. agr. ital. 47, 449 (1914).

[7]) H. Freundlich, Kapillarchemie (Leipzig 1909) 165.

[8]) Vgl. J. M. van Bemmelen, a. a. O. 406 und T. Oryng, Koll.-Zeitschr. **13**, 14 (1913). P. A. Favre und G. A. Valson haben für eine große Anzahl von Salzen die hier in Betracht kommende Ausdehnung bzw. Zusammenziehung bei der Lösung festgestellt. Allerdings weichen ihre Ergebnisse von denen anderer Forscher auch zum Teil ab. Vgl. Compt. rend. **77**, 802 (1873); **79**, 971, 975 (1874). Ferner C. Forch, Drudes Annal. Phys. (4) **17**, 744 (1905).

[9]) Ebenso bei K. Pomplun, Inauguraldissertation Halle a. S. (1912).

Bromammonium, negativ adsorbiert wurden. Bei den Sulfaten fanden sich wechselnde Erscheinungen. E. Bußmann konnte neuerdings bei Erdböden negative Adsorption von Kaliumnitrat, Kalziumnitrat und Magnesiumsulfat feststellen,[1]) wodurch meine Ansicht über den soeben besprochenen Versuch A. Mitscherlichs an Wahrscheinlichkeit gewinnt.

Immerhin wird aber die reine Adsorption der Mehrzahl der anorganischen Salze der Alkali- und Erdalkalimetalle in ihrer soeben behandelten Form, sei sie nun positiv oder negativ, zumeist eine sehr geringe sein[2]) und demnach für die Landwirtschaft in der Regel keine größere Rolle zu spielen vermögen, worin ich mich mit A. Mitscherlich[3]) in Übereinstimmung befinde. Eine Ausnahme mögen Ammoniumkarbonat und Ammoniumphosphat machen, ebenso das wohl nur ausnahmsweise im Boden vorkommende freie Ammoniak.[4]) Einige Fälle, bei denen auch für landwirtschaftliche Untersuchungen die negative Adsorption eine Rolle zu spielen vermochte, habe ich schon früher mitgeteilt.[5]) Auch von anderer Seite wurde jüngst hierauf hingewiesen;[6]) festzuhalten ist aber daran, daß für die Vorgänge im Boden draußen zumeist die Adsorption in ihrer von S. Lagergreen dargelegten Form ohne größere Bedeutung sein wird, soweit die für die Pflanzenernährung wichtigen Alkali und Erdalkalisalze in Betracht kommen.[7])

bb) W. Gibbs' Theorie.

Die weiter für die Erklärung der Adsorption herangezogenen Anschauungen, die in gewisser Ähnlichkeit[8]) mit den Ausführungen S. Lagergreens sich an die Wirkung gelöster Stoffe auf die Oberflächenspannung

[1]) E. Bußmann, Journ. Landw. **61**, z. B. 116 (1913). Angaben von A. M. Williams, Elektrochem. Zeitschr. **21**, 177 (1914), scheinen zwar auch für das Vorhandensein negativer Adsorption zu sprechen, sind aber eigenartig und wohl nicht durchaus einwandfrei. Vgl. T. Oryng, Koll.-Zeitschr. **17**, 59 (1915).

[2]) Vgl. dieselbe Ansicht bei E. Tezner und J. Roska, Zeitschr. physiol. Chem. **56**, 500 (1908)

[3]) A. Mitscherlich, Bodenkunde, 2. Aufl. (Berlin 1913) 198.

[4]) P. Ehrenberg, Beweg. Ammoniakstickst. in Natur (Berlin 1907) 174

[5]) Ebendort 177 ff. Th. Schlösing d. Ä., Compt. rend. **53**, 1007 (1866). H. Eichhorn, Landw. Jahrb. **4**, 20 (1875); J. M. van Bemmelen, Landw. Versuchsstat. **21**, 170 (1877); vgl. auch E. Heiden, Düngerlehre **1**, 364 (1879); A. König, Landw. Jahrb. **11**, 31 (1882).

[6]) R. O. Herzog und S. Adler, Koll.-Zeitschr. **2** (II), 3 (1908); L. Michaelis und P. Rona, Biochem. Zeitschr. **15**, 207 (1908); J. M. van Bemmelen, Absorption (Dresden 1910) 404; B. Tacke und H. Süchting, Landw. Jahrb. **41**, 734—735 (1911).

[7]) Vgl. H. Morawitz, nach H. Freundlich, Kapillarchemie (Leipzig 1909) 166.

[8]) Vgl. H. Freundlich, Kapillarchemie (Leipzig 1909) 286.

der Flüssigkeit anlehnen und ihre feste Umschreibung durch W. Gibbs fanden,[1]) können hier unberücksichtigt bleiben, so interessant und lehrreich sie auch theoretisch sind.[2]) Denn auch die für sie zugrunde gelegten Untersuchungen fanden nur eine sehr schwach positive bzw. negative Adsorption für die bei der Bodenadsorption besonders wichtigen anorganischen Salze,[3]) Säuren und Basen.[4])[5]) Der Tatbestand ist für uns aber durch eine sehr große Anzahl von Untersuchungen dahin festgestellt worden, daß der Erdboden gar nicht unerhebliche Mengen wesentlich von Alkalien bzw. alkalischen Erden in verhältnismäßig locker gebundener Form, wie man meist sagt, „absorbiert" enthält.

cc) Ionenadsorption.

Zum Teil in Zusammenhang mit den bereits erwähnten Anschauungen ist man jetzt geneigt, der Adsorption von Ionen, und zwar der verschieden starken Aufnahme der einzelnen, eine sehr große Bedeutung für die Adsorption im allgemeinen, wie für viele Einzelfälle derselben zuzuschreiben. Es würde hier zu weit führen, die immer noch vielfach schwierigen Verhältnisse darzulegen. So weit sie für das Verständnis unserer Ausführungen erforderlich scheinen, sind sie nachfolgend gelegentlich näher erwähnt. Sonst sei auf die zusammenfassende Darstellung bei R. Zsigmondy verwiesen.[6])

b) Die Bodenadsorption.

aa) Rein adsorptive Wirkungen.

Nun ist aber auch in Anlehnung an die soeben erwähnten theoretischen Ansichten versucht worden, die Adsorption im Erdboden klarzulegen, und

---

[1]) W. Gibbs, Thermodynam. Studien (Leipzig 1892) 321.

[2]) Man vgl. dazu außer dem Original: Wo. Ostwald, Grundriß Kolloidchemie (Dresden 1909) 428; H. Freundlich, Kapillarchemie (Leipzig 1909) 52, 57; R. Zsigmondy, Kolloidchemie (Leipzig 1912) 62 usw., auch die reichhaltige Literatur über Adsorption.

[3]) Daß alle anorganischen Salze ihren Einfluß auf die Grenzflächenspannung und damit ihre hier in Frage kommende Adsorbierbarkeit geradezu umkehren, je nachdem es sich um Grenzflächen von flüssig zu flüssig oder flüssig zu gasförmig handelt, behauptet C. Mc. C. Lewis, Zeitschr. physik. Chem. **74**, 639 (1910).

[4]) H. Freundlich, a. a. O. 60, 158, 159; das Ammoniak wurde merklich stärker adsorbiert, ebenso die Salze vieler Schwermetalle.

[5]) Man vgl. aber auch H. Freundlichs Angabe a. a. O. 161, nach der „ein entschiedener Gegensatz zwischen Salzen einerseits, Säuren und Basen andererseits besteht. Die letzteren werden stärker adsorbiert" Es dürften sich diese Angaben allerdings wohl mehr auf organische Verbindungen beziehen. Vgl. a. a. O. 63. Weiter aber auch F. von Lerch, Ann. Phys. (4) **9**, 438 (1902).

[6]) R. Zsigmondy, Kolloidchemie (1912) 75, 76 u. f.

die bezüglichen Ausführungen, z. B. von R. Schaller[1]), U. Pratolongo[2]), J. H. Aberson[3]) und besonders auch von G. Wiegner[4]) sind gewiß für jeden sich mit diesen Fragen beschäftigenden Forscher wichtig und im Original zu verfolgen. Doch scheinen mir auch durch sie bei weitem noch nicht alle Schwierigkeiten gelöst zu sein, die sich einer Erklärung der Bindung von Salzen durch den Boden mit Hilfe der neueren Adsorptionsanschauungen entgegenstellen.

G. Wiegner, der seine Versuche lediglich mit den künstlichen amorphen Silikaten, sog. Aluminatsilikaten nach R. Gans,[5]) ausführte,[6]) nimmt an, daß die zunächst durch Aluminiumhydroxyd positiv geladenen, kolloiden Silikate Basen adsorbieren, weil für positive Grenzflächen das Hydroxylion am stärksten adsorbierbar ist. Gegen das mit dem Hydroxylion zusammen festgehaltene Kation findet dann der später noch zu würdigende Basenaustausch statt.

G. Wiegner stützt sich für diese Anschauungen neben den Untersuchungen J. M. van Bemmelens, auf die noch einzugehen sein wird, auf H. Lachs und L. Michaelis,[7]) er erwähnt auch dazu E. Ramann[8]) und P. Rohland.[9]) Aber E. Ramanns Ausführungen sind ziemlich allgemeiner Art, P. Rohlands Untersuchungsergebnisse können, wie ich selbst zeigte,[10]) mit einiger Berechtigung doch auch in sehr abweichender Richtung gedeutet[11]) werden. Das ist inzwischen auch von anderer

[1]) R. Schaller, Zeitschr. angew. Chem. **14**, 1294 (1901).

[2]) U. Pratolongo, Staz. sper. agr. ital. **45**, 5 ff. (1912). Er nimmt sogar an, daß auch die Phosphorsäure im Boden wesentlich adsorptiv gebunden wird, vgl. ebenda **48**, 491 (1915). Auch J. König, J. Hasenbäumer und C. Haßler, Landw. Versuchstat. **75**, 399 (1911), scheinen dieser Meinung zuzuneigen, ebenso E. G. Parker, Journ. Ind. Eng. Chem. **6**, 831 (1914); A. de Dominicis, G. Marmano und L. Diateria, Staz. sperim. agr. ital. **47**, 449 (1914).

[3]) J. H. Aberson, Koll.-Zeitschr. **10**, 13 (1912); auch dargelegt von A. Mayer, Fühlings landw. Ztg. **62**, 228 (1913).

[4]) G. Wiegner, Journ. Landw. **60**, 111 u. 197, besonders aber 204.

[5]) Von der Firma I. D. Riedel in Berlin unter dem Namen Permutit in den Handel gebracht.

[6]) G. Wiegner, Journ. Landw. **60**, 130 (1912); die amorphen Silikate wurden zur Untersuchung nach Bedarf verändert.

[7]) H. Lachs und L. Michaelis, Zeitschr. Elektrochem. **17**, 1 (1911).

[8]) E. Ramann, Bodenkunde, 3. Aufl. (Berlin 1911) 60.

[9]) P. Rohland, Landw. Jahrb. **36**, 473 (1907); **38**, 273 (1909) **39**, 372, (1910). Auch noch: P. Rohland, Die Tone (Wien und Leipzig 1909).

[10]) P. Ehrenberg, Landw. Jahrb. **38**, 857 (1909). Zu der dort angegebenen Literatur ist noch R. Sachsse, Agrikulturchemie (Leipzig 1888) 160, hinzuzufügen.

[11]) Vgl. unten 285.

Seite bestätigt worden.[1]) — H. Lachs und L. Michaelis fanden, wie G. Wiegner erwähnt,[2]) bei Versuchen mit Kohle für Laugen, daß „die Basen größtenteils aus der Lösung verschwanden, da die Adsorption des OH-Ions außerordentlich stark ist".[3]) Das stimmt zunächst wenig zu H. Freundlichs Angabe, daß Kohle aus Wasser die anorganischen Elektrolyte, vor allem die Salze der Alkali- und Erdalkalimetalle, die starken Säuren und Basen usw. sehr wenig adsorbiert, und zwar bei einer Konzentration von 0,1 Mol im Liter unter 1 Millimol für 1 g Kohle.[4])

Aber abgesehen hiervon sei zugegeben, daß allerdings der sonstige Befund von H. Lachs und L. Michaelis sich recht gut mit der von G. Wiegner vorgeführten Annahme zu decken scheint. Aber es scheint nur so. Denn nach diesen beiden Forschern fand bei der Kohle, nachdem diese Basen adsorbiert hatte, keine Adsorption von Anionen aus Lösungen von Neutralsalzen mehr statt, „mit Ausnahme des stark adsorbierbaren PO_4-Anions".[5]) Da G. Wiegner ganz gleiche Erscheinungen für die von ihm benutzten amorphen Silikate voraussetzt,[6]) wie sie hier bei Kohle gefunden wurden, so müßte bei seinen amorphen Silikaten sich auch die Adsorption von Phosphorsäure wiederfinden. Das ist aber nicht der Fall, im Gegenteil, diese weisen keinerlei Adsorption von Phosphation in analytisch nachweisbarer Menge auf.[7]) Somit ist die Ähnlichkeit doch nicht eine greifbare, und es erscheint zweifelhaft, ob G. Wiegners Annahmen dadurch gestützt sind. Denn sein Nachweis, daß die Vorgänge bei den amorphen Silikaten von der Art des Permutits der Adsorptionsisotherme entsprechen,[8]) wird nicht als ausreichender Beweis angesehen werden dürfen.

---

[1]) J. d'Ans, Koll.-Zeitschr. **6**, 38 (1910); Erwiderung Rohlands ebenda 64; G. Wiegner und S. Graf Rostworowski, Journ. Landw. **60**, 235 (1912); vgl. weiter auch die diesbezügliche Auseinandersetzung im Sprechsaal Keram.-, Glas- u. verw. Ind. 1910 43; J. Dumont, Compt. rend. **142**, 345 (1906).

[2]) G. Wiegner, Journ. Landw. **60**, 205 (1912).

[3]) L. Michaelis hatte übrigens früher, Biochem. Zeitschr. **18**, 207 (1909), in Gemeinschaft mit P. Rona darauf hingewiesen, daß gewisse Adsorptionserscheinungen von der rein mechanischen Adsorption wesensverschiedene Vorgänge sind. Vgl. auch Biochem. Zeitschr. **15**, 197 (1908).

[4]) H. Freundlich, Kapillarchemie (Leipzig 1909) 159.

[5]) G. Wiegner, a. a. O. 205.

[6]) Ebendort 204.

[7]) G. Wiegner und S. Graf Rostworowski, Journ. Landw. **60**, 235 (1912).

[8]) Um diesen Nachweis bemüht sich auch M. Gorski für die Farbstoffadsorption durch Ackerboden, Zeitschr. landw. Versuchsw. Österr. **15**, 1214 (1912), indessen, wie T. Oryng nachweist, mit einem mehr als einem Einwande preisgegebenen Verfahren; Koll.-Zeitschr. **14**, 104 (1914).

Die Adsorptionsisotherme ist schon mehrfach in neuer Form aufgestellt worden,[1]) ohne daß sie nun in jeder Weise Beifall gefunden hätte.[2]) Erst R. Zsigmondy hob wieder hervor, daß es sich bei ihr um „eine recht schmiegsame Interpolationsformel mit zwei Koeffizienten handelt".[3]) Ebenso vertritt z. B. J. R. Katz[4]) die Meinung, daß, „wenn eine ‚Adsorption irgendeines gelösten Stoffes in festen Körpern der Adsorptionsformel folgt, sie noch nicht notwendig eine Oberflächenadsorption zu sein braucht." — Was die Annahme Wiegners anbelangt, daß „die durch Aluminiumhydroxyd positiv geladene Kolloidverbindung" des von ihm benutzten Permutits eine starke Adsorptionskraft für OH-Ionen hat")[5], so ist es mir nicht bekannt, ob für die positive Ladung des Permutits experimentelle Beweise vorliegen. Dagegen behauptet Wiegner, daß für die Ackererde die Verhältnisse die gleichen sind, wie in dem Permutit,[6]) während nachweislich die Ladung gereinigten Tons, der notorisch starke Aufnahmefähigkeit für Basen besitzt, eine negative ist,[7]) wie G. Wiegner selbst anführt.[8]) Unter diesen Umständen müssen Zweifel entstehen, ob Wiegners erwähnte Anschauungen zum mindesten für Ton und Ackerboden, vielleicht aber sogar für Permutit ausreichend gesichert erscheinen. Es scheint auch, als wenn sie in dieser Richtung bereits nicht mehr aufrechterhalten würden.[9])

Der von Wiegner für seine Ansicht angeführte Forscher J. M. van Bemmelen, dieser auf agrikulturchemischem Gebiete, zumal in der Boden-

[1]) Von F. W. Küster, zit. z. B. bei L. Michaelis und P. Rona, Biochem. Zeitschr. **15**, 200 (1908); von H. Freundlich, Kapillarchemie (Leipzig 1909) 92; von G. C. Schmidt, Zeitschr. physik. Chem **77**, 641 (1911); von Sv. Arrhenius, Meddelanden K. Vetenskapsakad. Nobelinst. **2**, Nr. 7 (1911). Dazu noch G. C. Schmidt, Zeitschr. physik. Chem. **78**, 667 (1912).

[2]) Gerade die von G. Wiegner angeführten Forscher H. Lachs und L. Michaelis nehmen auch an, vgl. Zeitschr. Elektr. **17**, 919 (1911), daß die Adsorption der Neutralsalze nicht zu vergleichen ist mit der Adsorption der sog. oberflächenaktiven Stoffe.

[3]) R. Zsigmondy, Kolloidchemie (Leipzig 1912) 64.

[4]) J. R. Katz, Kolloidchem. Beihefte **9**, 172 (1917).

[5]) G. Wiegner, Journ. Landw. **60**, 204 (1912).

[6]) Ebenda 222.

[7]) Vgl. oben, u. a. auch von G. Given im Göttinger agrikulturchem. Institut zu Göttingen festgestellt, ebenso von P. Rohland, Landw. Jahrb. **44**, 438 (1913), ferner von J. König, J. Hasenbäumer und C. Haßler für verschiedene Ackerböden, vgl. Landw. Versuchsstat **75**, 412 (1911).

[8]) G. Wiegner, Landw. Versuchsstat. **84**, 287 (1914).

[9]) G. Wiegner, Landw. Versuchsstat. **84**, 287 (1914).

kunde,[1]) wie für kolloidchemische Fragen hochbedeutende Forscher hat sich ja weitgehend mit der Bindung von Salzen u. dgl. durch mannigfache Kolloide, wie durch den Erdboden selbst beschäftigt. Dabei kamen aber, was er selbst einmal zugibt[2]) und worauf u. a. dann B. Tacke und H. Süchting hinwiesen,[3]) sehr wesentlich solche Kolloide zur Verwendung, die auch als schwache Säuren aufzufassen sind und sich also derart zu betätigen vermögen, wie Kieselsäure, Zinnsäure, Tonerde, Chromhydroxyd, Mangandioxyd, und zur Adsorption gelangten vorwiegend Basen. Gelegentlich war die Sachlage auch umgekehrt.[4]) Übrigens stand J. M. van Bemmelen selbst auch der Annahme von gewissen chemischen Wirkungen bei seinen Versuchen nicht gar so ablehnend gegenüber.[5]) Das ist wenigstens aus seinen Abhandlungen z. B. von H. Freundlich[6]) entnommen worden.[7]) Und dieser Forscher selbst hat auch zugegeben, daß die von ihm angeführten Gründe gegen eine chemische Auffassung nur Wahrscheinlichkeitsgründe sind,[8]) betonte sogar wiederholt,[9]) „daß es keineswegs unmöglich ist, die Adsorptionsisotherme als einen Ausdruck des chemischen Massenwirkungsgesetzes aufzufassen.“ Selbstverständlich liegt es mir hier sehr fern, die Frage, ob es sich bei den Adsorptionen von gelösten Stoffen um chemische Wirkungen oder um andere Vorgänge handelt, erledigen zu wollen. Ich glaube sogar, daß eine allgemeine Entscheidung mit „entweder — oder“ gar nicht am Platze ist, da ja nach den Umständen bald Oberflächenadsorption, bald feste Lösung, bald chemische Reaktion, zum Teil neben- und nacheinander, eine Rolle spielen werden. Für die Erklärung der mich hier interessierenden Frage, der Festhaltung von Pflanzennährstoffen durch den Ackerboden, scheint mir, — abgesehen von der

[1]) Man vgl. besonders seine Arbeiten in Landw. Versuchsstat. **21**, 135 (1878); **23**, 265 (1879); **35**, 69 (1888).

[2]) J. M. van Bemmelen, Absorption (Dresden 1910) 427.

[3]) B. Tacke und H. Süchting, Landw. Jahrb. **41**, 718 (1911).

[4]) J. M. van Bemmelen, Absorption (Dresden 1910) 400.

[5]) J. M. van Bemmelen, Die Absorption (Dresden 1910) 143, wo er von Umbildung von Absorptionsverbindungen in chemische spricht. Auch ebendort 98, 193, 405, 492 und a. a. O. In älteren Abhandlungen, Landw. Versuchsstat. **23**, 295 (1879), wollte J. M. van Bemmelen die Aufnahme von Stoffen aus Lösungen durch die Ackererde sogar „nur chemischen Reaktionen“ zuschreiben. Auch ebendort **21**, 162—163 (1878). Weiter Zeitschr. anorg. Chem. **23**, 342 (1900).

[6]) H. Freundlich, Kapillarchemie (Leipzig 1909) 286.

[7]) Vgl. weiter auch G. Wiegner, Journ. Landw. **60**, 126 (1912).

[8]) H. Freundlich, Kapillarchemie (Leipzig 1909) 289.

[9]) H. Freundlich, Kolloidzeitschr. **3**, 213 (1908) und Zeitschr. f. physik. Chem. **73**, 421 (1910).

mit Ausnahme etwa für Ammoniak und Ammoniumsalze gewiß nicht sehr maßgebenden Wirkung der Drucke in den adsorbierten Wasserhäutchen nach S. Lagergreen, — die chemische Erklärung neben der Ionenadsorption zur Zeit jedenfalls noch unentbehrlich zu sein. Ich werde dies noch näher begründen, möchte aber hier bereits darauf hinweisen, daß auch andere Anschauungen vertreten werden,[1]) und daß jedenfalls auch sonstige Möglichkeiten stets im Auge zu behalten sind, so die Bildung fester Lösungen.

bb) Chemische Wirkungen.

Maßgebend für meine Ansicht ist einmal der Umstand, daß für die Aufnahme von Basen durch die Humusbestandteile des Bodens nach den von F. Bahr und mir veröffentlichten,[2]) wie auch nach den zum Teil schon früher von B. Tacke und H. Süchting,[3]) B. Tacke, A. Densch und Th. Arnd,[4]) sowie von Sv. Odén[5]) und von G. Fischer[6]) mitgeteilten Forschungen wesentlich chemische Vorgänge und nicht in erster Linie Adsorptionswirkungen in Betracht kommen. Stets und ständig sind aber die Vorgänge der Aufnahme von Stoffen aus Lösungen durch Humusbestandteile des Bodens den entsprechenden durch mineralische Bestandteile desselben gleichgesetzt worden, so daß sehr wohl die Annahme erlaubt ist, daß die Feststellungen für den einen Fall wenigstens bis auf weiteres auch für den anderen gelten dürfen. Auch scheinen J. Königs Versuchsergebnisse für Mineralboden eine Oberflächenbindung nennenswerter Pflanzennährstoffmengen nicht wahrscheinlich zu machen.[7])

Ferner stellten L. Michaelis und P. Rona für den Kaolin fest, daß ihm kein sicher nachweisbares mechanisches Adsorptionsvermögen zukommt, offenbar weil die Oberflächenspannung des Wassers gegen Kaolin

[1]) A. N. Ssokolowsky glaubt, die Adsorption von Basen durch den Boden als den gleichen Gesetzen unterworfen ansehen zu müssen, wie die von Wasser. Journ. exp. Landw. **15**, 115 (1914). H. Lachs und L. Michaelis sehen in der Adsorption der Neutralsalze einen rein elektrischen Vorgang. Vgl. Zeitschr. Elektrochem. **17**, 1 u. 917 (1911).

[2]) P. Ehrenberg und F. Bahr, Journ. Landw. **61**, 427 (1913).

[3]) B. Tacke und H. Süchting, Landw. Jahrb. **41**, 727 (1911).

[4]) B. Tacke, A. Densch und Th. Arnd, ebendort **45**, 195 (1913).

[5]) Sv. Odén, Ber. Deutsch. chem. Ges. **1**, 651 (1912); Intern. Mittlg. Bodenk. **6**, 81 (1916), bes. 101.

[6]) G. Fischer, Kühn-Archiv **4**, Sonderdruck (1914).

[7]) J. König, Landw. Versuchsstat. **61**, 390 (1905).

sehr gering ist.[1]) Dagegen hat E. Kohler gerade für Kaolin ganz merkbare Aufnahme von Basen nachgewiesen.[2]) Eine chemische Art der Bindung hierbei erscheint also wahrscheinlich. Nun bin ich zwar der letzte, der den Kaolin mit den im Boden vorhandenen kolloiden Aluminiumsilikaten ohne weiteres gleichsetzen möchte. Immerhin ist aber eine gewisse Verwandtschaft, oder sagen wir auch nur Ähnlichkeit nicht zu leugnen, und daher verstärkt die erwähnte Feststellung die chemische Erklärung. Denn Th. Schlösing d. Ä. fand in dem von ihm isolierten Kolloidton aus Kaolinen in drei Fällen 1—4¼% Kali, daneben u. a. Kalk und Magnesia.[3]) L. Michaelis und P. Rona[4]) zufolge kann dies Kali jedenfalls nicht durch Oberflächenwirkung gebunden gewesen sein. Nach W. R. Williams' Untersuchungen müssen wir aber annehmen, daß besonders die dem Th. Schlösingschen Kolloidton entsprechenden Teile des Bodens die Adsorption aus Lösungen vermitteln,[5]) und A. A. J. von 'Sigmond[6]) vertritt die gleiche Ansicht, wie auch z. B. A. N. Ssokolowsky[7]) für die Adsorption Proportionalität mit der Hygroskopizität annimmt, was zum nicht geringen Teil auf das gleiche herauskommen dürfte. Wenn die feinsten Bodenteilchen nun aber in dem einen Fall nicht wesentlich durch Oberflächenwirkungen wirksam sein sollten, so mag mit nicht ganz geringer Berechtigung das auch sonst unwahrscheinlich genannt werden.

Weiter konnten in Fällen, bei denen die Aufnahme von Basen durch fein verteiltes Platin aus Lösungen studiert wurde und wohl zweifellos nur Oberflächenwirkungen in Betracht kamen, von C. Kellner[8]) Beobachtungen gemacht werden, die zu G. Wiegners Ansichten im Gegensatz stehen. G. Wiegner[9]) teilt mit, daß die von amorphen Silikaten seiner Meinung nach rein adsorptiv gebundenen Kationen nur in sehr geringer Menge durch reines Wasser losgelöst werden. C. Kellner wies dagegen eine ganz erhebliche Wiederabgabe der adsorbierten Basen bei Einbringen seines Platinmohrs in reines Wasser nach.[10]) Da es sich bei ihm zweifellos um

---

[1]) L. Michaelis und P. Rona, Biochem. Zeitschr. **15**, 210 (1908).

[2]) E. Kohler, Zeitschr. prakt. Geol. **11**, 50 (1903). E. Kohler nimmt übrigens selbst reine Adsorption an.

[3]) Th. Schlösing d. Ä., Compt. rend. **79**, 473 (1874).

[4]) Vgl. a. a. O.

[5]) W. R. Williams, Forschungen auf dem Gebiete der Agrikulturphysik **18**, 235 (1895).

[6]) A. A. J. von 'Sigmond, Intern. Mittlg. Bodenk. **5**, 212 (1915).

[7]) A. N. Ssokolowsky, Journ. exp. Ldw. **15**, 114 (1914).

[8]) C. Kellner, Ann. d. Phys. u. Chem., neue Folge **57**, 79 (1896).

[9]) G. Wiegner, a. a. O. 198—200.

[10]) C. Kellner, am angeführten Orte.

Oberflächenwirkung, also „reine" Adsorption gehandelt haben dürfte, so liegt der Schluß nahe, daß bei G. Wiegners Versuchen andere als rein adsorptive Bindungen vorlagen. Auch von D. Prianischnikow veröffentlichte Untersuchungen Th. Tschirikows[1]) dürften hierauf hindeuten. Ebenso Beobachtungen von M. Berthelot,[2]) der durch Behandlung von essigsaurem Kali mit Holzkohle nennenswerte Kalimengen in unlöslicher Form festzulegen vermochte, und zwar auch in der Wärme. B. Tacke berichtet endlich über seine Erfahrungen bei der Phosphorsäurefestlegung durch Moorsubstanz, daß diese wahrscheinlich kolloide Bindung die Phosphorsäure den Pflanzen weitgehend unzugänglich macht,[3]) was auch mit reinen Oberflächenwirkungen nicht gut übereinstimmen würde. —

Meiner Ansicht nach werden wir einer, nach Lage der heutigen Kenntnisse befriedigenden Erklärung für die Verhältnisse beim Basenaustausch am nächsten kommen, wenn wir die Aufnahme von Ionen bei der Ausfällung von Kolloiden und Aufschwemmungen, also Ionenadsorption, und daneben chemische Umsetzungen ziemlich labiler Art in den Bereich unserer Überlegungen ziehen. Dabei wird freilich, dem begrenzten Maße unserer heutigen Kenntnisse entsprechend, immer noch mancherlei unzusammenhängend und unklar bleiben. —

Wir wissen, daß der ohnehin negativ geladene Ton einer Aufschwemmung durch Ammoniakzusatz weiter aufgeladen, und noch mehr in den eigentlichen „Sol"-zustand übergeführt wird, und können wohl mit Recht als Ursache dieser Aufladung Ionenadsorption annehmen, wobei Hydroxylion in gewissem Umfange „vorwiegend [4]) adsorbiert und hierdurch den Teilchen verstärkte elektronegative Ladung erteilt wird. Ebenso, wie hier Erhöhung der vorhandenen Ladung größere Stabilität des Sols herbeiführt, muß Herabminderung der Ladung zu beginnender, oder vollständiger Zusammenballung führen. Das wird eintreten, wenn wir statt des Elektrolyten NH_4OH, dessen OH' „vorwiegend" adsorbiert wurde, einen anderen Elektrolyten verwenden, dessen Kation stark adsorbiert wird, wie etwa $CaCl_2$. Auch hierbei wird das den Ladungssinn besonders beeinflussende Ion, hier $Ca^{\cdot\cdot}$, adsorbiert werden und, da es hier durch Ladungsausgleich zur Zusammenballung und Ausflockung kommt, mit in den Niederschlag gerissen werden. Ganz entsprechende Beobachtungen

[1]) D. Prianischnikow, Ergebn. Vegetat. Laborator.-Vers. 1911/12, 8. Ber. (Moskau 1913) 308.

[2]) M. Berthelot, Compt. rend. **141**, 433, 798 u. 1182 (1905).

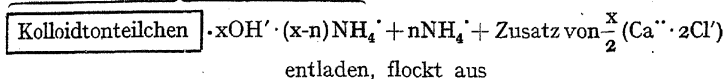
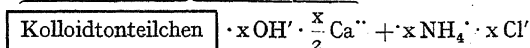
[3]) B. Tacke, Protok. 41. Sitz. Zentr.-Moor-Komm. 1898 (1899) 41.

[4]) Vgl. dazu unten 298.

sind von H. Picton und S. E. Linder, bei Arsensulfid,[1]) von W. Spring[2]) bei Mastixaufschwemmungen, von W. R. Whitney und J. E. Ober bei Arsensulfid[3]) gemacht worden. Als primärer Fall ist immer die Aufladung anzusehen, sei sie nun z. B. durch die Ionen des Schwefelwasserstoffs erfolgt,[4]) und die negative Ladung durch vorwiegende Adsorption von S'' daraus zu erklären, oder in einem andern Fall etwa durch Ionen von Alkalihydroxyden, deren OH' dann die Ladung bedingt oder vielleicht auch verstärkt hat. Tritt nun Fällung ein, so wird der Vorgang folgender sein: Hierbei gelangt zu dem Sol ein Elektrolyt, dessen entgegengesetzt geladenes Ion ebenfalls, wie vorher z. B. das OH'-Ion, „vorwiegend" adsorbiert werden kann, jedenfalls stärker, als das zuvor mit dem OH'-Ion zusammen vorhandene Ion. Es tritt dann an dessen Stelle, während das vorher mit dem OH-Ion zusammen vorhandene, nicht so stark adsorbierbare Ion in die Flüssigkeit zurücktritt.[5]) Also

$$\overbrace{\boxed{\text{Kolloidtonteilchen}}\cdot xOH'\cdot(x-n)NH_4^{\cdot}}^{\text{elektrisch geladen}} + nNH_4^{\cdot} + \text{Zusatz von } \frac{x}{2}(Ca^{\cdot\cdot}\cdot 2Cl')$$

ergibt

$$\overbrace{\boxed{\text{Kolloidtonteilchen}}\cdot xOH'\cdot\frac{x}{2}Ca^{\cdot\cdot}}^{\text{entladen, flockt aus}} + xNH_4^{\cdot}\cdot xCl'$$

Die Anzahl der überhaupt von dem einzelnen Kolloidtonteilchen bei stärkerer Ladung desselben adsorbierten Ionen wird nicht ganz gering sein, rechnet doch R. Zsigmondy[6]) für ein Silberkolloidteilchen mit 0,050 μ Durchmesser und einer Beweglichkeit von 2 μ/sec., eine Ladung, welche der von 99 Chlorionen entspricht, oder noch mehr.

Entsprechend den eben gemachten Ausführungen beobachteten Picton und Linder, daß kolloides Arsensulfid bei der Fällung mit Chlorkalzium Kalziumionen aufnimmt, während Wasserstoffionen in Freiheit gesetzt wurden. Vielleicht ist die Ladung des Arsensulfids in diesem Fall durch die Ionen des Schwefelwasserstoffs, bzw. durch dessen Schwefelion bedingt gewesen, so daß das in diesem Fall weniger adsorbierte Wasserstoffion durch das Ca·· ersetzt wurde. Bei Picton und Linder[7]) ließ sich

[1]) H. Picton und S. E. Linder, Journ. chem. Soc. **67**, 63 (1895).

[2]) W. Spring, Arch. Scienc. Phys. Natur. (4) **10**, 305 (1900).

[3]) W. R. Whitney und J. E. Ober, Zeitschr. phys. Chem. **39**, 630 (1902).

[4]) Vgl. H. Picton und S. E. Linder, Journ. Chem. Soc. **61**, 114 (1892); dazu auch H. Freundlich, Kapillarchemie (Leipzig 1909) 350.

[5]) Vgl. hierzu H. Freundlich, Kapillarchemie (Leipzig 1909) 347.

[6]) R. Zsigmondy, Kolloidchemie (Leipzig 1912) 51.

[7]) A. a. O.

nun das derart aufgenommene $Ca^{\cdot\cdot}$ nicht durch Waschen mit Wasser entfernen, wohl aber durch äquivalente Mengen anderer Ionen, z. B. Barium. Noch eingehender prüften Whitney und Ober[1]) diese Verhältnisse, und fanden auch Aufnahme äquivalenter Mengen von Ionen bei der Fällung. Nach R. Zsigmondy ist dies leicht erklärlich,[2]) da es sich eben um Neutralisation bestimmter Elektrizitätsladungen handelt, die natürlich bestimmte, äquivalente Ionenmengen erfordern.

Daß nun Ton, bzw. auch Ackerboden, in Wasser aufgeschwemmt, bei der Fällung in ähnlicher Weise Ionen aufnimmt, ist bekannt,[3]) doch wohl erst in jüngster Zeit näher geprüft, und besonders nicht nur mit der Flocken- und Krümelbildung im Boden, sondern auch mit der Adsorption in Beziehung gebracht worden. Zunächst ist in dieser Richtung G. Wiegner zu erwähnen, der in neueren Mitteilungen auf den Zusammenhang von Adsorption und Zusammenballung bzw. Ausflockung für Bodenaufschwemmungen hinwies, ohne dabei freilich zur früher sogenannten „Bodenabsorption", zum Basenaustausch im Boden, die Brücke zu schlagen.[4]) Ganz ähnlicher Art sind Hinweise von A. de Dominicis und G. Gangeni, nach denen die Ionen in gleichem Maße, als sie von den Bodenteilchen adsorbiert werden, auch zur Zusammenballung führen, nur scheinen sie den von Wiegner wohl berücksichtigten, aufteilenden Wirkungen gewisser Ionen bei geringerer Konzentration nicht ausreichend Rechnung zu tragen.[5]) Weiter hat ganz besonders H. Kappen[6]) fesselnde Versuche hierzu mitgeteilt, und ebenso liegen von J. P. van Zyl[7]) entsprechende Angaben vor.

Hiernach möchte es nun scheinen, als wenn die Sachlage durchaus auf eine ausschließlich den Ladungsverhältnissen der Teilchen Rechnung tragende Betrachtung der Verhältnisse hinwiese. Und zweifellos wird auch für die erste Aufnahme der Ionen aus einer Lösung, soweit es sich noch nicht um den eigentlichen Basenaustausch handelt, die z. B. von R. Zsigmondy[8]) gebotene Betrachtung der Vorgänge bei der Adsorption, wesentlich auf Grund von elektrischen Ladungsverhältnissen, jetzt am besten gerechtfertigt sein. Dahin deuten wohl auch ganz besonders

[1]) A. a. O.
[2]) R. Zsigmondy, Kolloidchemie (Leipzig 1912) 81/82.
[3]) Vgl. z. B. Th. Schlösing d. Ä. oft erwähnte Arbeiten.
[4]) G. Wiegner, Landw. Versuchsstat. **84**, 283 (1914).
[5]) A. de Dominicis und G. Gangeni, Staz. sper. agr. ital. **48**, 525 (1915)
[6]) H. Kappen, Landw. Versuchsstat. **88**, 33—36 (1916).
[7]) J. P. van Zyl, Inauguraldissertation Göttingen (1916) 59/60.
[8]) R. Zsigmondy, Kolloidchemie (Leipzig 1912) 77 u. f., 81/82.

die neuen Untersuchungen von A. Fernau und W. Pauli über die Beziehungen zwischen dem Einfluß der Radiumstrahlung und der Elektrolytwirkung auf Kolloide.[1])

Doch liegen die Verhältnisse wesentlich verwickelter, sobald wir von der ersten Aufnahme von Elektrolyten aus Lösungen durch die Bodenbestandteile absehen. Schon S. Odén konnte feststellen, daß bei dem gleichfalls elektronegativ geladenen Humuskolloid des Bodens sowohl Adsorption, wie chemische Bindung auftritt, und daß dabei die letztere auch bei ziemlich geringen Konzentrationen überwiegt.[2]) Ähnlich glaube ich für Ton Hinweise geben zu können, die das Eingreifen chemischer Vorgänge wahrscheinlich machen:

Ton wird zunächst nach G. Given — es handelt sich um gereinigten und von Salzen weitgehend befreiten Ton von Gäbersdorf-Beckern[3]) — durch verschiedene Kalksalze bald schneller, bald langsamer ausgeflockt, wie ja bekannt ist. In gleicher Weise wirken auch Alkalisalze in größeren Konzentrationen, wie z. B. M. Böttcher[4]) nachwies. Das wären ja bekannte Dinge. Bei beiden Forschern konnte indessen eine Aufnahme von Ionen in die Tonmasse hinein festgestellt werden.

M. Böttcher fand, wenn er 25 g Ton, 4 ccm $\frac{n}{1}$ NaOH und 200 ccm Wasser zusammen schüttelte, daß die Tonaufschwemmung sich nach einiger Zeit völlig klärte, der Ton sich also absetzte.[4]) Nach den schon dargelegten Anschauungen hat Adsorption der Ionen, und dadurch veranlaßte Ausflockung stattgefunden, da bei der erheblichen Konzentration des zugesetzten Elektrolyten die ursprünglich verflüssigende Wirkung des Ätznatrons zurücktreten muß und der Schwellenwert für die Ausflockung erreicht wird.[5]) Nun aber, und das ist sehr auffallend, folgte auf erneutes, längeres Umschütteln derselben Probe auch nach langer Zeit keine Zusammenballung und Ausflockung mehr. Es zeigte sich auch, daß der Alkaligehalt der Flüssigkeit, die vom Ton gesondert entnommen wurde, nach der zweiten Umschüttelung gegenüber der ersten abgenommen hatte. Anzunehmen, wie das M. Böttcher will,[6]) daß hier eine nach-

[1]) A. Fernau und W. Pauli, Koll.-Zeitschr. **20**, 20 u. f., 32 (1917).

[2]) S. Odén, Intern. Mittlg. Bodenk. **6**, 99 (1916).

[3]) Vgl. G. Given, Inauguraldissertation Göttingen (1915) 6.

[4]) M. Böttcher, Dissertation Dresden (1908) 57.

[5]) Vgl. u. a. die Darlegungen G. Wiegners, Landw. Versuchsstat. **84**, 288 (1914); ferner H. Freundlichs kurze Angaben, Kapillarchemie (Leipzig 1909) 353/354.

[6]) A. a. O. 59.

trägliche Adsorption die Verminderung des Elektrolyten bedingt hätte, scheint mir unmöglich. Denn wir müssen ja gerade annehmen, daß die zuerst beobachtete Ausflockung des Tons eine Folge der Adsorption von Ionen war. Wie sollte da eine „nachträgliche Adsorption" die Ausflockung wieder herabmindern? J. K. Neubert[1]), der die gleiche Frage behandelte, die sich bei dem sogenannten „Rückverflüssigungsvorgang" durch Alkali angesteiften Tonbreis noch besonders deutlich geltend macht,[2]) kommt denn auch bereits zu der Annahme einer chemischen Wirkung des Alkalis,[3]) der ich noch verschiedene weitere Beweise oder wenigstens Wahrscheinlichkeitsdarlegungen zufügen möchte.[4]) Denn die hier erwähnte Erscheinung mit einem Adsorptionsrückgang nach Art der von H. Freundlich und E. Hase beschriebenen und erörterten Fälle in Beziehung zu setzen, ist natürlich nicht angängig, da bei diesen der ursprünglich adsorbierte Stoff wieder in die Lösung zurück abgegeben wird.[5])

Im Anschluß an die Leitfähigkeitsbestimmungen, welche M. Böttcher bei seinen Beobachtungen der Rückverflüssigung von Tonbrei durchführte, und die ihm stets eine zum Teil bis 90—120 % gehende Verminderung der Leitfähigkeit ergaben,[6]) stellte G. Given für Kalkwasser und Ton die entsprechende Aufnahme von Elektrolyt fest. Dabei ergab sich[7]) als Leitfähigkeit des mit Kalkwasser gemischten Tonbreies für 20°

bei Schütteln von 100 g Ton mit 500 ccm Wasser während 7 Stunden im Apparat, Zusatz von 500 ccm gesättigtem Kalkwasser, eine Minute lang dauerndes, erneutes Schütteln und Bestimmung:

sofort	3140×10^{-6}
nach 10 Minuten	2910×10^{-6}
nach 1 Stunde	2820×10^{-6}
nach 2 Stunden	2750×10^{-6}
nach 24 Stunden	2540×10^{-6}
nach 48 Stunden	2540×10^{-6}

[1]) J. K. Neubert, Kolloidchem. Beih. 4, 321—335 (1913).

[2]) M. Böttcher, Dissertation Dresden (1908) 48 u. f.; J. K. Neubert, Kolloidchem. Beihefte 4, 325 (1913).

[3]) J. K. Neubert, a. a. O. 320/1, 329.

[4]) Nicht allen Darlegungen J. K. Neuberts vermag ich beizustimmen, zumal scheint er mir die Humuskolloidstoffe gegenüber dem Kolloidton zu sehr in den Vordergrund zu stellen.

[5]) H. Freundlich und E. Hase, Zeitschr. physik. Chem. 89, 417 (1915).

[6]) M. Böttcher, a. a. O. 53.

[7]) G. Given, a. a. O. 15.

Die Einstellung des Gleichgewichts war also nach einer Minute andauerndem Schütteln noch bei weitem nicht erfolgt, ja, noch nicht einmal eine Stunde später. Nun hat aber O. Arendt[1]) bei seinen Untersuchungen über den Einfluß der Rührgeschwindigkeit auf den Verlauf der Adsorption bei kristallinen Stoffen indessen viel kürzere Einstellungszeiten für das Adsorptionsgleichgewicht gefunden, und es gilt ja überhaupt rasche Einstellung des Gleichgewichts als kennzeichnend für einen Adsorptionsvorgang.[2])

Vielleicht noch wichtiger ist folgender Versuch:[3]) 50 g Ton wurden nach Aufschüttelung mit 200 g Wasser während 7 Stunden mit 1 l gesättigtem Kalkwasser geschüttelt, nach Absetzen und Abgießen der überstehenden Flüssigkeit wieder mit Kalkwasser behandelt, und so weiter. Dreimal wurde das Verfahren wiederholt. Der so gesättigte Ton wurde von dem Kalkwasser abfiltriert, und einmal kurz mit reinem Wasser gewaschen. Er hatte ungefähr 1,25 % seines ursprünglichen Trockengewichts an CaO aufgenommen, konnte in gleicher Weise wie gewöhnlicher Ton in reinem Wasser aufgeschwemmt werden, und blieb einige Tage im Schweben. Wir sehen hier demnach eine ungewöhnlich starke Aufnahme von Ätzkalk durch Ton, die nicht von Zusammenballung begleitet ist, also wahrscheinlich auch nicht als typische Adsorption bezeichnet werden kann.

Allenfalls ließe sich hiergegen noch einwenden, daß die angewandte Menge $Ca(OH)_2$ infolge ihres Gehalts an Hydroxylion nicht ausflockend, sondern verteilend, aufschwemmend wirkt, und den zur Ausflockung erforderlichen Schwellenwert noch nicht erreicht hat. Denn daß auch für Ätzkalk bei genügend niedrigen Konzentrationen eine aufschwemmende Wirkung zu erwarten ist, — entsprechend den Erscheinungen bei den Alkalihydroxyden — behauptete bereits W. Durham,[4]) und ähnliches läßt sich auch aus G. Bodländers Tabellen für Bariumhydroxyd[5]) entnehmen, wie gleichfalls G. Wiegner es aus theoretischen Gründen erwartet.[6]) Das ist auch der Fall, wie G. Given experimentell nach-

---

[1]) O. Arendt, Kolloidchem. Beihefte **7**, 212 (1915).

[2]) H. Freundlich, Kapillarchemie (Leipzig 1909) 83, 172; G. Wiegner, Journ. Landw. **60**, 221 (1912).

[3]) G. Given, a. a. O. 16.

[4]) W. Durham, Chem. News **30**, 57 (1874).

[5]) G. Bodländer, Nachr. Ges. Wissensch. Göttingen (1893) 276; Neues Jahrb. Miner. Geol. Palaeont. **2**, 147 (1893).

[6]) G. Wiegner, Landw. Versuchsstat. **84**, 289 (1914).

zuweisen vermochte.[1]) Jedoch ist sehr wahrscheinlich die Menge von 1,25 % CaO viel zu groß, um bei bloßer Adsorption noch Aufschwemmung zu ermöglichen, da nach Given zur Erzielung einer Tonaufschwemmung durch Kalk 0,324 % Ätzkalk[2]) — also nicht CaO — erforderlich und die Grenzen der dafür in Frage kommenden Konzentration außerordentlich enge sind.[3])

Ohne daher für die — leider durch den Krieg bedingte — Tatsache blind zu sein, daß die vorliegenden Beweise noch stark erweiterungsbedürftig sind, möchte ich doch annehmen, daß der Adsorption von $Ca(OH)_2$ und Alkalihydroxyden an der Oberfläche des Tons eine Aufnahme des Elektrolyten durch die gequollene, und wohl noch weiter quellende Masse der Kolloidtonteilchen folgt, die von längerer zeitlicher Ausdehnung ist, als der Adsorptionsvorgang. Für jedes von dem gequollenen Inneren der Tonteilchen aus deren Oberfläche entnommene Molekül $Ca(OH)_2$ wird aber ein neues aus der Lösung wieder adsorbiert, bis die Aufnahme von $Ca(OH)_2$ durch das Innere der Tonteilchen, die ich mir als chemischen Vorgang vorstelle, beendet ist. Ähnliche Gedanken, nur unter Nichtberücksichtigung des zuerst eintretenden Adsorptionsvorganges, bringt auch J. Don für die Umsetzungen beim Permutit, bei denen er auch einen schnell verlaufenden Vorgang — also wohl eine Adsorptionserscheinung, wie wir sagen würden, — von einer Reaktion mit dem Inneren der Teilchen unterscheidet.[4]) Endlich aber ist die Feststellung von G. Schulze hochwichtig. Er stellte fest,[5]) daß der Permutit in Lösung sich befinden müßte, wenn nur seine Oberfläche bei der Adsorption eine Rolle spielte. Also ist eine Wanderung der Ionen im Innern des festen Permutits anzunehmen. Ebenso ist von A. Ritzel[6]) und nach ihm von H. Freundlich und H. Kaempfer[7]) eine neben die Adsorption tretende Aufnahme ins Innere des adsorbierenden Stoffes ermittelt, welche von Freundlich allerdings als Lösungsvorgang angesehen wird.

Der soeben dargelegten Ansicht entsprechend, daß die Erstaufnahme

[1]) G. Given, a. a. O. 11. Für $Ba(OH)_2$ konnte erst neuerlich die aufteilende Wirkung gewisser Konzentrationen im Agrikulturchem. Inst. Göttingen sehr deutlich veranschaulicht werden.

[2]) Dessen Löslichkeit in Wasser zu 1,62 g im Liter angenommen.

[3]) G. Given, a. a. O.

[4]) J. Don, Kolloid-Zeitschr. **15**, 134 (1914).

[5]) G. Schulze, Zeitschr. physik. Chem. **89**, 170 (1915).

[6]) A. Ritzel, Zeitschr. physik. Chem. **67**, 747 (1909).

[7]) H. Freundlich und H. Kaempfer, Elster-Geitel-Festschrift (Braunschweig 1915) 29.

von Ionen bei Fällung von Bodenkolloiden sich aus Adsorption und ihr folgender chemischer Bindung eines Teils der adsorbierten Ionen im Inneren der Masse der Teilchen zusammensetzt, ist wohl auch die Erklärung der ziemlich häufig beobachteten, starken Schwankungen der Einstellungsgeschwindigkeit für das Gleichgewicht bei diesem Vorgange zu versuchen. Sie war durchaus nicht in allen Fällen[1]) so groß, daß sie unbedingt für eine Oberflächenwirkung hätten sprechen müssen. Man findet z. B. schon bei den Versuchen J. M. van Bemmelens nicht selten[2]) Angaben, daß die Aufnahme der untersuchten Stoffe in geringerem Grade noch eine gewisse Zeit fortdauert. Vielleicht könnte man solche Andeutungen sogar bei G. Wiegners Versuchen[3]) bemerken, wenn auch nur in sehr geringfügigem Maße. Und endlich ermittelte D. J. Hissink,[4]) daß bei Versuchen mit Permutit nach R. Gans. das Gleichgewicht nur sehr langsam eintrat. Er schließt denn auch nicht auf eine Oberflächenbindung, sondern auf Bildung fester Lösungen,[5]) wobei auch chemische Vorgänge wahrscheinlich sein könnten.

Wenn ich somit für die erste Aufnahme von Elektrolyten durch Bodenkolloide ein Nach- und Nebeneinanderwirken von Adsorption und chemischer Bindung im Innern der Kolloidteilchen annehme, so würde ich doch unvollständig bleiben, wenn ich nicht versuchen würde, Näheres über die Adsorptionseinzelfälle anzugeben, soweit dies bislang möglich ist.

Bei der Adsorption — der Basenaustausch ist später zu besprechen, obwohl vielleicht besondere Unterschiede nicht bestehen —

[1]) Gleichgewichtseinstellung in einer Stunde oder weniger fand G. Berju, der wohl die ersten Versuche in dieser Richtung ausführte, bei Erdboden in Umsetzung mit Chlorammoniumlösung. Vgl. Landw. Versuchsstat. **65**, 30 (1901). Noch schnellere Einstellungen des Gleichgewichts nimmt G. Wiegner an, vgl. a. a. O. 134; ebenso K. Gedroiz, Journ. exp. Ldw. **15**, 208/9 (1914), doch ist des Letztgenannten weitere Beweisführung auch zu bemängeln. Aber E. Bußmann konnte nach 10 Minuten noch erhebliche Aufnahmen feststellen, Journ. Landw. **61**, 118 (1913). In ähnlicher Weise verliefen Versuche von M. Dittrich, Zeitschr. anorg. Chem. **47**, 156—157 (1905). Ganz außerordentlich lange Fristen wies Farbstoffadsorption von Erdboden bei W. Graf Leiningen auf, doch fehlen quantitative Feststellungen. Koll.-Zeitschr. **19**, 167/8 (1916).

[2]) J. M. van Bemmelen, Die Absorption (1910) 481, 490.

[3]) G. Wiegner, Journ. Landw. **60**, 135—136 (1912).

[4]) D. J. Hissink, Landw. Versuchsstat. **81**, 390, bes. auch 395 (1913).

[5]) Vgl. über diese Möglichkeit z. B. J. B. Firth, Zeitschr. phys. Chem. **86**, 294 (1914); D. Schmidt-Walter, Koll.-Zeitschr. **14**, 242 (1914); L. Pinner Kühn-Archiv **6**, 238 (1915), u. viele andere.

dürften, allgemeinen kolloidchemischen Überlegungen und Erfahrungen gemäß, bestimmte Ionen besonders stark adsorbiert werden.[1]) Ich kann hier auf die Mitteilungen von H. Freundlich[2]) hinweisen, die voraussichtlich durchaus für den Ton und die übrigen Bodenkolloide passen dürften, und drei Fälle erkennen lassen:

1. Das Kation wird stärker adsorbiert, als das Anion.
   Die Folge ist bei unseren, zumeist negativ geladenen Bodenkolloiden schnelle Ausfällung. Stark adsorbierbar sind vor allem das Wasserstoffion, die Ionen der Schwermetalle und organische Kationen.
2. Beide Ionen werden nahezu gleich stark adsorbiert.
   Die Folge ist bei unseren in der Regel negativ geladenen Bodenkolloiden eine langsamer eintretende, doch zumeist wohl nur mäßig verzögerte Ausfällung. Besonders hier wird dann die Wertigkeit der Ionen eine große Rolle zu spielen vermögen.
3. Das Anion wird stärker adsorbiert, als das Kation.
   Die Folge ist bei unsern meist negativ geladenen Bodenkolloiden zunächst in geringeren Konzentrationen Verteilung, Aufschwemmung. Erst jenseits des vielfach ziemlich weit hinausliegenden Schwellenwertes tritt Ausfällung ein. Stark adsorbierbar sind vor allem das Hydroxylion und die Ionen der organischen Säuren.

Es wird sich nun darum handeln, die vorliegenden Einzelfälle kurz zu besprechen.

Das Wasserstoffion: Bereits W. Durham[3]) zeigte, daß Ton in konzentrierter Schwefelsäure ebenso wie in Wasser aufgeschwemmt werden kann. Wasserstoffionen sind nur in geringem Maße vorhanden. Sobald man aber verdünnte Säure anwendet, somit die elektrolytische Dissoziation und damit die Bildung von Wasserstoffionen vermehrt, kommt der Ton zur Ausfällung. Deutlicher noch war die Wirkung des Wasserstoffions aus Versuchen von A. D. Hall und C. G. T. Morrison[4]) zu entnehmen, bei denen sich in willkürlichen Einheiten ergab:

[1]) Für Böden u. a. ausgeführt von E. G. Parker, Journ. Agric. Research 1, 179 (1913).

[2]) H. Freundlich, Kapillarchemie (Leipzig 1909) 351 u. f.

[3]) W. Durham, Chem. News (1874) 30, 57.

[4]) A. D. Hall und C. G. T. Morrison, Journ. Agric. Science 2, 251 (1907). Ähnliche Werte wären aus zahlreichen anderen, auch älteren, Versuchen über Tontrübungen u. dgl. zu entnehmen.

Kaolintrübung ergab eine vergleichsweise ausflockende Kraft für äquinormale Lösungen von

Ion	Kraft	Ion	Kraft	Ion	Kraft
$H^{\cdot}$	$= 20$	$H^{\cdot}$	> 20	$H^{\cdot}$	> 20
$Al^{\cdot\cdot\cdot}$	$= 20$	$Ca^{\cdot\cdot}$	> 10	$Ca^{\cdot\cdot}$	$= 10$
$Ca^{\cdot\cdot}$	> 5	$K^{\cdot}$	> 2	$Ba^{\cdot\cdot}$	$= 10$
$Mg^{\cdot\cdot}$	< 5	$Na^{\cdot}$	> 1	$K^{\cdot}$	> 2
$K^{\cdot}$	< 1			$Na^{\cdot}$	< 1
$Na^{\cdot}$	$= 0{,}5$				
Als Anion war überall SO_4'' verwendet, u. so Gleichartigkeit erzielt.		Als Anion war überall Cl' verwendet, u. so Gleichartigkeit erzielt.		Als Anion war überall NO_3' verwendet, u. so Gleichartigkeit erzielt.	

Damit ist die vorherrschende Wirkung des H-Ions bei der Fällung von Bodenaufschwemmungen und damit zusammengehender Adsorption wohl ausreichend bewiesen. Sie paßt sich völlig den Ausführungen Freundlichs an.

Schwermetallionen: Nach G. Bodländers Versuchen[1]) ist anzunehmen, daß Blei wesentlich stärker adsorbiert wird als Kupfer, da es sogar mit dem Azetat-Anion verbunden sehr stark fällend auf Kaolintrüben wirkt. Kupfer wirkte, obwohl nur mit dem Sulfat-Anion zusammen, schon schwächer, noch weniger das, allerdings auch nur einwertige Silber mit dem Nitration. Alle drei genannten Schwermetalle standen aber an der Spitze von Bodländers Reihe, und übertrafen das dreiwertige Aluminiumion, wie das Wasserstoffion. Zink wirkte schwächer als die genannten Schwermetalle, aber immer noch mehr als das Wasserstoffion, und demnach sehr stark.

Organische Kationen: Diese sind bei Bodenkolloiden bisher wenig geprüft,[2]) G. Bodländer stellte nur fest, daß sie fällend wirken,[3]) und zwar Chininchlorhydrat fast wie Schwefelsäure, auch sind exakte Versuche der Schwierigkeiten der Löslichkeit, und auch mancherlei störender Reaktionen halber nicht ganz einfach, wie bislang orientierende Versuche im agrikulturchemischen Institut Göttingen zeigten. Indes spricht bisher keine Beobachtung gegen ein Parallelgehen der Fällung von Bodenkolloiden durch sie mit den von Freundlich festgestellten, für die Adsorption geltenden Tatsachen, auch scheint eine starke Adsorption der organischen Basen im Erdboden stattzufinden. Da indessen auch anderweit Ausnahmen von den Ansichten Freundlichs festgestellt sind,[4]) so mag Zurückhaltung noch ratsam sein.

Wertigkeit der Ionen. Hier sei von den älteren, bekannten An-

[1]) G. Bodländer, Neues Jahrb. Mineral. Geol. Paläont. 2, 161 (1893).

[2]) Vgl. unten 307.

[3]) G. Bodländer, a. a. O. 156.

[4]) E. Heinz, Inauguraldissertation Göttingen (1914) 26.

gaben abgesehen und nur auf die oben wiedergegebenen Ergebnisse von Hall und Morrison hingewiesen, sowie auf neue Angaben H. Kappens.[1]) Dieser fällte Tonaufschwemmungen mit verschiedenen Salzen, ersetzte dann die überstehende Flüssigkeit durch destilliertes Wasser, schüttelte wieder auf, ließ wieder absetzen, und verfuhr so wiederholt. Dabei ergab sich, als je 1 g Salz mit 20 g Ton auf 1 l aufgefüllt und gründlich umgeschüttelt wurde:

Benutztes Salz	Kation ist ? wertig	Aufschlämmung wird erreicht bei Ersatz des Wassers zum ? Male	Aufschlämmung wird erreicht bei: und ist von welcher Stärke?	Leitfähigkeit bei diesem Ersatz des Wassers?
schwefelsaures Ammoniak	einwertig	zum dritten Male	dauernd, äußerst stark	$1{,}23 \cdot 10^{-4}$
schwefelsaures Eisenoxydul	zweiwertig	zum dritten Male	schwach	$1{,}52 \cdot 10^{-5}$
schwefelsaures Manganoxydul	zweiwertig	zum dritten Male	stärker	$2{,}09 \cdot 10^{-5}$
Ferrichlorid	dreiwertig	noch nicht zum fünften Male	nicht eingetreten	$7{,}34 \cdot 10^{-6}$
Ferriammoniumsulfat	dreiwertig	noch nicht nach häufig wiederholter Erneuerung	nicht eingetreten	$6{,}60 \cdot 10^{-6}$

Hier zeigt sich somit die Festigkeit der Adsorption des Salzes zusammengehend mit der Wertigkeit, ganz wie es H. Freundlich und E. Hase darlegen. Sie nehmen als Erklärung dafür an, daß bei einwertigen Kationen nur lockere Flocken gebildet werden, während höherwertige eine raschere Vergröberung der Flocken veranlassen.[2]) Ob dies für das von ihnen untersuchte positive $Fe(OH)_3$-Sol gilt, steht hier nicht in Frage, nach allem aber, was man über die außerordentlich weitgehende Reversibilität der Flockung des Kolloidtons weiß, ebenso über die Möglichkeit, ihn mit Säuren zu „reinigen", muß man wohl durchaus mit einer chemischen Bindung des Eisensalzes an den Kolloidton rechnen, zumal auch für die ähnlichen Humusfällungen chemische Wirkungen angenommen werden. Offenbar folgt auch hier auf die zuerst eintretende Adsorption eine chemische Bindung an die Masse des Kolloidtons.

Das Hydroxylion: Die Adsorption des Hydroxylions ist eine weitgehende, wie sich aus den vorhandenen Bestimmungen über die Behandlung von Ton mit Alkalien[3]) und alkalischen Erden zeigt. Offen-

[1]) H. Kappen, Landw. Versuchsstationen **88**, 34/35 (1916).
[2]) H. Freundlich und E. Hase, Zeitschr. physik. Chem. **89**, 417 u. f. (1915).
[3]) J. K. Neubert, Kolloidchem. Beih. **4**, 289 u. f. (1913).

bar wird, wie ja bekannt, dadurch eine weitgehende elektronegative Aufladung des Tons erreicht, und so seine „Verflüssigung" bzw. Aufschwemmung bedingt, bis zu weit fortschreitende Adsorption zur Entladung und zum Ausflocken führt.[1]) Daß auch die Gegenwirkung zweiwertiger Ionen der Erdalkalien erheblich von der Intensität übertroffen wird, mit der Hydroxylion zur Adsorption gelangt, beweisen Zahlen von G. Given. Gleichzeitig legen sie dar, daß die Menge des Adsorbens eine recht wichtige Rolle für die erzielte Wirkung spielt.[2]) Man erhält bei Anwendung größerer Mengen von Ton das Ergebnis, daß zugesetzte Mengen von $Ca(OH)_2$ fast vollständig zur Adsorption kommen, während aus $CaSO_4$ Lösung nahezu nichts adsorbiert wird.[3]) Bei aller Berücksichtigung der vorwiegenden Adsorption des Hydroxylions scheinen derartige Ergebnisse aber auch wohl nur dann einleuchtend erklärbar, wenn man mit einer Einwanderung des adsorbierten Stoffes ins Innere der Tonteilchen[4]) und einer chemischen Bindung dort rechnet. Diese wird freilich keine besonders feste zu sein brauchen, und der Kalk muß aus dem Ton verhältnismäßig schnell wieder in Lösung gehen, sobald durch Verdünnung das Adsorptionsgleichgewicht beeinflußt wird.[5]) Klarheit liegt auf diesem Gebiete bis auf weiteres jedenfalls noch nicht in ausreichendem Maße vor. Vielleicht verdient die Ermittelung von J. J. Thomson noch Beachtung, daß nicht nur die Geschwindigkeit, sondern auch die Gleichgewichtskonstante einer chemischen Reaktion weitgehend in Oberflächenschichten verändert werden kann.[6])

Die Ionen der organischen Säuren.

Nach Freundlichs Angaben müssen die Ionen der organischen Säuren ebenfalls stark, stärker als die zugehörigen Kationen, adsorbiert werden. Da sie bei unseren negativ geladenen Bodenkolloiden ebenso wie das Hydroxylion aufladend wirken müssen, so wird man eine Bestätigung für ein derartiges Verhalten bereits aus der Art entnehmen können, wie sie auf die Ausflockung wirken:

[1]) Vgl. auch H. Freundlich, Kapillarchemie 359 u. f., z. B. auch 361.

[2]) G. Given, a. a. O. 11.

[3]) G. Given, a. a. O. 14.

[4]) So auch nach W. Nernst, G. Schulze, Zeitschr. physik. Chem. **89**, 168 (1915).

[5]) G. Given, a. a. O. 17.

[6]) J. J. Thomson, Applic. Dynamics to Physics and Chemistry (London 1888) 203, 234. Weiter Wi. Ostwald, Zeitschr. physik. Chem. **62**, 512 (1908); W. Spring, ebenda **4**, 661 (1889). Interessant auch Versuche von T. Oryng, Koll.-Zeitschr. **11**, 170/71 (1912), bei denen Adsorption mit chemischer Reaktion zusammen auftrat.

Schon M. Whitney gab an, daß neben Ammoniak, kaustischen Alkalien und Soda „vielleicht alle organischen Stoffe die Flockenbildung verhindern und die feinsten Bestandteile des Bodens auseinandertreiben".[1])

Es fanden ferner A. D. Hall und C. G. T. Morrison bei ihren oben erwähnten Versuchen mit Kaolinaufschwemmung:

Ausflockende Wirkung der verschiedenen Säuren in willkürlichen Einheiten für äquinormale Lösungen von

Säure	Wirkung
Salzsäure	20
Salpetersäure	19
Schwefelsäure	13
Mono-, Di-, Tri-chloressigsäure	ca. 10
Essigsäure	9
Oxalsäure, Weinsäure	2 5
Amidoessigsäure, Zitronensäure, Phenol	0

Bei G. Bodländer[2]) ergibt sich folgende Reihenfolge in willkürlichen, entsprechenden Einheiten für

weniger gereinigten Kaolin:		stark gereinigten Kaolin:	
Salpetersäure	22,5	Salpetersäure	21,75
Salzsäure	20	Trichloressigsäure	21,75
Trichloressigsäure	19	Salzsäure	20
Schwefelsäure	19	Essigsäure	20[3])
Oxalsäure	3,8	Schwefelsäure	17
Phosphorsäure	3,3	Weinsäure	2,5
		Oxalsäure	0,9
		Phenol	0

Demnach wird tatsächlich die fällende Wirkung des Wasserstoffions um so mehr von dem Anion zurückgedrängt, je mehr wir zu organischen Säuren übergehen, bis zuletzt bei den höher molekularen organischen Säuren keine Fällung mehr eintritt, weil offenbar Adsorption und aufteilende Wirkung des organischen Anions das Übergewicht erlangt hat.

Wie stark die Adsorption und die damit zusammengehende aufteilende Wirkung dieser Ionen organischer Säuren auf die meisten Boden-

[1]) M. Whitney, U. S. Dept. Agric., Weather Bureau, Bull. **4**, (1892).

[2]) G. Bodländer, N. Jahrb. Mineral. Geol. Paläont. **2**, 161 u. 163 (1893), umgerechnet.

[3]) Dieser Wert fällt aus der Reihe, wie diese Tabelle Bodländers auch sonst noch auffallend erscheinende Werte enthält, so für $MgCl_2$ und essigsaures Blei.

kolloide sein muß, geht daraus hervor, daß nicht nur das Wasserstoffion, sondern auch dreiwertige Metallionen ihre fällende Wirkung verlieren, wenn sie in Form organischer Salze auf Ton wirken. So fand H. Kappen,[1]) daß

essigsaures Aluminium,
weinsaures Eisen und
zitronensaures Eisen

nicht nur nicht fällend, sondern eher noch stabilisierend auf Tonaufschwemmung einwirkten. B. Aarnio stellte übrigens noch fest, daß Bergbutter, ein tonartiges Kolloid, durch Essigsäure aufgeschwemmt wurde.[2])

Es entsprechen diese Beobachtungen völlig den Angaben Freundlichs.[3])

Schließlich noch ein Hinweis. Die Karbonate bzw. Bikarbonate von Alkalien und alkalischen Erden ähneln in ihrem Verhalten bei der Adsorption durch Bodenkolloide sehr erheblich den Alkalihydroxyden bzw. Hydroxyden der alkalischen Erden.[4]) Auffallend, und wohl auch im Sinne einer chemischen Reaktion[5]) im Anschluß an den Adsorptionsvorgang verwertbar ist dabei die Tatsache, daß bei sehr geringen Tonmengen Kalziumsulfat und Kalziumbikarbonat nahezu gleiche fällende Wirkung zeigen, wogegen das zweite Salz von größeren Tonmengen ebenso wie Kalziumhydroxyd nahezu völlig aufgenommen wird, Kalziumsulfat aber gar nicht.[6]) — Die Ähnlichkeit der Verhältnisse bei diesen Karbonaten und Hydroxyden ist wohl durch Hydrolyse, die auch in den Karbonat- und Bikarbonatlösungen das stark adsorbierbare Hydroxylion entstehen läßt, das nachher auch chemisch reagiert, bedingt.

Somit ist ein enger Zusammenhang zwischen Adsorption und Ausfällung auch für die Bodenkolloide unverkennbar, obwohl hier nur die wichtigeren, negativ geladenen unter diesen Berücksichtigung finden konnten. Chemische Vorgänge dürften sich an die Adsorption anschließen. Eingehende Kenntnis der verwickelten Zusammenhänge kann wohl erst nach Erledigung weiterer Experimentaluntersuchungen zu erwarten sein.[7])

---

[1]) H. Kappen, Landw. Versuchsstat. **88**, 34 (1916).

[2]) B. Aarnio, Zentralbl. Mineral. (1914), 74.

[3]) H. Freundlich, Kapillarchemie (Leipzig 1909) 361.

[4]) Vgl. M. Böttcher, Dissertation Dresden (1908); G. Given, Inauguraldissertation (1915) 15.

[5]) Vgl. auch J. K. Neubert, Kolloidchem. Beihefte **4**, 312, 320 (1913).

[6]) G. Given, a. a. O. 7. Ebenda 15.

[7]) H. Morawitz, Kolloidchem. Beihefte **1**, 301 (1910).

Die Aufnahme von gelösten Stoffen durch den Boden scheint mir demnach zum Teil als Adsorption in der Richtung zu erklären zu sein, daß die von den kleinsten Teilchen festgehaltenen, unter erhöhtem Druck stehenden Wasserhüllen gelöste Stoffe stärker oder schwächer aufnehmen als die übrige Lösung, nach S. Lagergreens Anschauung.[1]) Außerdem kommen Ionenadsorptionen in Betracht, an die sich wahrscheinlich für die praktisch bedeutungsvollen Fälle der Stoffaufnahme aus der Bodenlösung die Bildung wenig stabiler chemischer Verbindungen anschließen wird,[2]) mit Einstellung von Gleichgewichten nach dem Massenwirkungsgesetz[3]) hierbei. Der Kolloidzustand der dabei besonders in Tätigkeit tretenden Humus- und Tonbestandteile des Bodens wird infolge der enormen Oberflächenausdehnung das Zustandekommen chemischer Reaktionen in sehr kurzer Zeit begünstigen.

Die gewöhnlich zur Beobachtung kommende Aufnahme von Stoffen aus Lösungen durch die Acker- oder Walderde indes, soweit sie sich unter Basenaustausch vollzieht, fällt nicht unter die soeben besprochenen Vorgänge, sondern stellt nur ihre Folgeerscheinung dar.

cc) Basenaustausch.

Hat der Boden durch Adsorption mit folgender chemischen Umsetzung gewisse Basen aufgenommen, was zumeist gleich bei der Neubildung von Ton- bzw. Humuskolloiden durch diese geschehen dürfte,[4]) so vermag er diese Basen gegen andere auszutauschen, die in die Bodenlösung eingeführt werden. Der Austausch geschieht nach Äquivalent-

[1]) Neue Angaben hierzu machte auch E. Hatschek, Koll.-Zeitschr. **11**, 283 (1912).

[2]) Auch Beobachtungen von F. Brustlein und J. M. van Bemmelen wären noch heranzuziehen, Landw. Versuchsstat. **21**, 144 (1878). Weiter Untersuchungen G. Berjus, bei denen die Adsorptionsfähigkeit des Bodens durch 1% Zitronensäurelösung nur in sehr geringem Maße vermindert wurde. Gerade aber die organischen Säuren unterliegen der reinen Adsorption stark bis sehr stark, müßten also wohl die durch Oberflächenwirkung hervorgerufene Adsorption anderer Stoffe erheblich zurückdrängen, wenn diese allein in Frage käme; Landw. Versuchsstat. **55**, 30 (1901). Man vgl. auch die Untersuchungen E. Bußmanns, der häufig auf chemische Bindung durch den Boden zurückgreift; Journ. Landw. **61**, 122 (1913). Weiter Th. Peiffer und E. Blanck, Mittlg. Landw. Inst. Breslau **6**, 613 (1912).

[3]) Derartige Ansichten zum Beispiel auch bei A. Weinhold, Landw. Versuchsstat. **5**, 308 (1863); bei F. K. Cameron und H. E. Patten, Journ. Phys. Chem. **11**, 581 (1907); A. D. Hall und C. T. Ginningham. Transact. Chem. Soc. **91**, 677 (1907); andere Anschauung bei J. H. Aberson, Koll.-Zeitschr. **10**, 13 (1912).

[4]) Auch bei der Annahme von Oberflächenwirkungen würde die Sachlage annähernd die gleiche sein, vgl. G. Wiegner, Journ. Landw. **60**, 204/205 (1912).

verhältnissen, wie zuerst wohl O. Kellner ganz einwandfrei zu erweisen vermochte.[1]) Da zudem ein solcher Austausch auch für wohl kristallisierte Mineralien, zumal die Zeolithe, festgestellt ist,[2]) und für diese die chemische Natur des Vorgangs wohl von keiner Seite bestritten wurde,[3]) so wird man für den Basenaustausch selbst wohl kaum mit anderen, als chemisch[4]) verlaufenden[5]) und vom Massenwirkungsgesetz abhängigen Vorgängen zu rechnen haben, wenn man es nicht vorzieht, elektrochemischer Anschauungsweise entsprechend bei der Betrachtung die Neutralisation der adsorbierten Anionen durch neuaufgenommene Kationen, — während das bisher vorhandene Kation in die Lösung übertritt, — hervorzuheben.[6]) Da, wie R. Zsigmondy zeigte, hierbei die Äquivalenz der erforderlichen Mengen ein selbstverständliches Erfordernis ist,[7]) so ist es wohl nur eine Frage der Ausdrucksweise, ob man diese,

[1]) O. Kellner, Landw. Versuchsstat. **33**, 349 (1887). J. M. van Bemmelen bestätigte dies, ebendort **35**, 91, 128, u. a. a. O. (1888).

[2]) Es kommen besonders die Arbeiten J. Lembergs in Betracht: Dissertation (Dorpat 1877) 61. Ferner Zeitschr. Deutsch. geolog. Ges. **22**, 354 (1870); **24**, 187 (1872); **28**, 574 (1876); **29**, 457 (1877); **35**, 557 (1883); **37**, 958 (1885); **39**, 559 (1887); **40**, 357 u. 624 (1888). Ferner H. Eichhorn, Poppelsdorfer Landw. Mitteil. **1**, 140 (1859); Landw. Jahrb. **4**, 1 (1875); Th. Dietrich, Journ. prakt. Chem. **14**, 12 (1876); A. Beyer, Landw. Versuchsstat. **14**, 314 (1871); F. Ullik, Landw. Versuchsstat. **23**, 347 (1879) u. a. m.

[3]) Auch nicht von J. M. van Bemmelen, vgl. Absorption 113 u. 125. O. Kellner allein meinte, auch hier Oberflächenbindungen und nicht chemische Reaktionen annehmen zu müssen, „da er anders seinen Ansichten über die Absorptionsvorgänge untreu werden müsse". Man sieht, wie eng verbunden für diesen Forscher die Vorgänge des Basenaustausches bei kristallisierten Mineralien und Kolloiden waren. Heute, wo bei den ersten wohl allgemein chemische Umsetzung für vorliegend erachtet wird, hätte er sich demnach wohl auch entschlossen, derartige Vorgänge bei den Kolloiden als chemischer Art anzusehen.

[4]) So auch z. B. L. Pinner, Kühn-Archiv **6**, 231 (1915).

[5]) Man vgl. dazu G. Wiegner, Journ. Landw. **60**, 221 (1912), und die sich an die Frage des Basenaustauschs beim Permutit knüpfende, umfangreiche Literatur, von der noch erwähnt seien: R. Gans, Intern. Mittlg. Bodenk. **3**, 529 (1913); derselbe, Zentralbl. Mineral., Geolog., Paläont. (1913) 699, 728; H. Stremme, Zentralbl. Mineralog. (1914) 80; G. Wiegner, ebenda (1914) 262; derselbe, Koll.-Zeitschr. **15**, 166 (1914); A. A. J. von 'Sigmond, Intern. Mittlg. Bodenk. **5**, 189 (1915); G. Schulze, Zeitschr. phys. Chem. **89**, 178 (1915); L. Pinner, Kühn-Archiv **6**, 228 (1915); E. Ramann u. A. Sprengel, Zeitschr. anorg. Chem. **95**, 115 (1915); Kornfeldt-Prag, Deutsche Buns.-Ges. 1916, nach Zeitschr. angew. Chem. **30**, 63, wirtschaftl. Teil (1917); u. a. mehr.

[6]) Vgl. z. B. G. Schulze, Zeitschr. physik. Chem. **89**, 178 (1915); E. Ramann u. A. Sprengel, Zeitschr. anorg. Chem. **95**, 115 (1915).

[7]) R. Zsigmondy, Kolloidchemie (Leipzig 1909) 81/82.

oder jene Bezeichnung wählt.) Daß für das Maß der Schnelligkeit beim Basenaustausch die Zerteilung eine erhebliche Rolle spielt, wies F. H. Campbell nach.[2]) Und da weiter nach W. R. Williams nahezu ausschließlich die feinsten Bodenbestandteile dabei von Bedeutung sind,[3]) so kann es nicht überraschen, daß der Verlauf der Reaktion beim Basenaustausch ein sehr schneller ist. Ebenso dürfte dieser Umstand unter anderem die Ursache dafür sein, daß die kristallisierten Silikate im Boden für die Aufnahme von Stoffen aus Lösungen unter Basenaustausch keine erhebliche Bedeutung besitzen. Hierauf wies schon J. M. van Bemmelen hin.[4]) An sich könnten sie ja, wie schon oben erwähnt, beim Basenaustausch sehr wohl sich ähnlich betätigen, wie die kolloiden Silikate und auch die Humuskolloide, wenn auch wohl nur erheblich schwächer. Die lange Dauer aber, welche sie infolge ihrer verhältnismäßig geringen Zerteilung für derartige Umsetzungen brauchen — A. Beyer mußte für Feldspat zu Einwirkungszeiten von $2^1/_2$ Jahren greifen,[5]) um Basenaustausch zu erzielen, während dies H. Eichhorn bei elf Tagen nicht gelungen[6]) war — erklärt das völlige Zurücktreten ihrer Beteiligung beim Basenaustausch im Erdboden. Wo wir indes eine gewisse Lockerung der Struktur, eine gewisse Aufteilung, und damit erleichterte Bedingungen für chemische Umsetzungen vorfinden, wie bei den kristallisierten Mineralien der Zeolithreihe — J. R. Katz hat sie direkt als gequollene Kristalle bezeichnet[7]) —, da verläuft auch der Basenaustausch schneller. Kurzer Erwähnung mag es hier verdienen, daß im Gegensatz zu G. Tammann, der die Zeolithe bezüglich der Bindung ihres Wassers als feste Lösungen aufzufassen geneigt ist,[8]) neuerdings A. Beutell und K. Blaschke auch gegen F. Rinne[9]) und G. Friedel[10]) behaupten, daß im Zeolith Desmin das Wasser chemisch

[1]) Eigenartige Ansichten über den Basenaustausch bei E. G. Parker, Journ. Agric. Research. **1**, 187 (1913).

[2]) F. H. Campbell, Landw. Versuchsstationen **65**, 248 (1907).

[3]) W. R. Williams, Forsch. Geb. Agrikulturphysik **18**, 235 (1895). Auch E. G. Parker, Journ. Agric. Research. **1**, 188 (1913), u. a. mehr.

[4]) J. M. van Bemmelen, Die Absorption 125.

[5]) A. Beyer, Landw. Versuchsstat. **14**, 314 (1871).

[6]) H. Eichhorn, Landw. Jahrb. **4**, 7 u. 30 (1875).

[7]) J. R. Katz, Kon. Akad. Wetensch. Amsterdam, Proc. Meeting March (1911) 25.

[8]) G. Tammann, Zeitschr. phys. Chem. **27**, 323 (1898); Neues Jahrb. Miner. (1898), Beilagebd. **27**, 323.

[9]) F. Rinne, Neues Jahrb. Miner. (1897), I, 41; (1899), I, 1; Fortschr. Miner. **3** 159 (1913).

[10]) G. Friedel, Soc. Minéral. **19**, 94 (1896).

gebunden sei. Sie ersetzen im Desmin in neutraler Lösung bis 96, in ammoniakalischer Lösung bis 100 % des Kalziums durch NH_4, und glauben, „daß es sich hier offenbar um chemische Gleichgewichte handelt.“[1] Auch nach L. Bock ist ein Teil des Wassers in den Zeolithen chemisch gebunden.[2] — Indes ist bezüglich dieser wasserhaltigen, kristallisierten Silikate ein wesentlicher Anteil an der Aufnahme von Stoffen aus Lösungen im Boden nicht zu erwarten, denn sie sind bislang dort nicht nachgewiesen[3] worden.[4]

Es können beim Basenaustausch nicht nur auch die Basen von Schwermetallen, wie dies bereits längst bekannt ist,[5] sondern weiter auch organische Basen gegen Alkali bzw. alkalische Erden ausgetauscht werden. Die ersten Feststellungen in dieser Hinsicht stammen wohl von F. Falck,[6] der Bindung durch den Erdboden bei Naphthylamin, Strychnin, Nikotin fand. J. Soyka dehnte diese Ermittlungen mit gleichem Erfolge auf Chinin, Morphin, Atropin, Pyridin, Piperidin, Cinchonin aus,[7] und stellte dabei schon fest, daß nur die Base im Boden verblieb, die Säure aber frei wurde und im Filtrat erschien. F. Falck und R. Otto[8] vermochten dann die Beobachtung zu machen, daß im Filtrat Basen der Alkalien bzw. alkalischen Erden auftraten. Doch haben sie leider diesem Umstande kaum Beachtung geschenkt und sind sich über den wohl zweifellos vor sich gehenden Basenaustausch nicht klar geworden. Jedenfalls konnte ich auch in der letzten diesbezüglichen Veröffentlichung keinen klaren Hinweis dieser Art finden.[9] Im Gegenteil wird als Ursache der Bindung „physikalische Anziehung“ angenommen, was wohl erst noch sehr des genaueren Beweises bedürfte.[10] Wo. Ostwald teilt endlich[11] mit, daß Walkerde

---

[1] A. Beutell u. K. Blaschke, Zentralblatt Miner. (1915) 4, 195; K. Blaschke, Inauguraldissertation Breslau (1914), 24 u. f.

[2] L. Bock, Koll. Zeitschr. **19**, 15 (1916).

[3] Vgl. u. a. M. Dittrich, Zeitschr. anorg. Chem. **47**, 158 (1905).

[4] G. Milch, Grundlag. Bodenkunde (1899) 90, spricht daher vorsichtigerweise nur von zeolithähnlichen Körpern im Boden.

[5] Literatur hierzu vgl. man bei P. Ehrenberg, Landw. Versuchsstat. **72**, 26 (1910), hier besonders für Zink. Für Kupfer bei E. Haselhoff, Landw. Jahrb. **21**, 264—266 (1892).

[6] F. Falck, Vierteljahrsschr. gerichtl. Med., n. F. **27**, 83 (1877). Ebendort **29**, 272 (1878).

[7] J. Soyka, Naturforscher **18**, 166 (1888).

[8] F. Falck und R. Otto, Vierteljahrsschr. gerichtl. Med., (3), **2**, 171 (1891).

[9] Vgl. hierzu R. Otto, am gleichen Orte **3**, 2 (1892); **4**, 1 (1893); Landw. Jahrb. **25**, 1007 (1896) und **39**, 397 (1910).

[10] R. Otto und W. D. Kooper, Landw. Jahrb. **39**, 402 (1910).

[11] Wo. Ostwald, Welt vernachl. Dimens. (Dresden 1915) 193.

Kokainhydrochlorid, Strychninsulfat, Cinchoninsulfat, Cinchonidinsulfat, Chininbisulfat, Atropinsulfat, Brucinsulfat, Codeinsulfat, Morphinsulfat in sehr erheblichen Mengen sorbiert. Allerdings dürften in diesen und ähnlichen Fällen, wie bisher unveröffentlichte Versuche im Göttinger agrikulturchemischen Institut zeigten, leicht sekundäre Reaktionen das Versuchsbild trüben.

Damit sei die Frage der Adsorption aus Lösungen und die mit ihr zusammenhängenden Vorgänge, besonders der Basenaustausch, verlassen. Eingehende Literaturstudien können hier übergangen werden, da sie an anderem Ort von J. M. van Bemmelen,[1]) von mir,[2]) wie von G. Wiegner[3]) vorliegen. Nur zum Schluß sei darauf hingewiesen, daß beim Basenaustausch Kali sich vom Boden stärker gebunden zeigt, als Natron oder Kalk.[4]) Das ist natürlich sehr wichtig, da Kali ja besonders wertvoll für den pflanzentragenden Boden ist und so weniger zur Auswaschung kommt. Auch bei G. Wiegner findet sich die Bemerkung, daß bei fortschreitender Konzentration von Chlorammonium in einer Lösung aus den von ihm untersuchten amorphen Silikaten mehr Kalzium als Kalium verdrängt wird.[5]) Nach den Untersuchungen von F. H. Campbell[6]) ist für die Reihenfolge und Bedeutung der verschiedenen Alkalien beim Basenaustausch die Konzentration von maßgebendem Einfluß. Bei niedrigen Konzentrationen, und diese kommen für den Boden ja wesentlich in Frage, ordnen sich die verdrängenden Alkalien bzw. alkalischen Erden, wenn man auch noch Angaben J. M. van Bemmelens[7]) heranzieht,[8]) in die Reihe: Lithium, Kalzium, Natrium, Magnesium, Kalium, Ammonium, welch letztgenanntes die stärkste Wirkung äußert. Bei hohen Konzentrationen erreicht Natrium nahezu dasselbe Maximum wie Kalium, was für Seewasserschädigungen von Erdboden und ähnliche Verhältnisse zu beachten ist, Lithium geht erheblich höher, während Ammo-

[1]) J. M. van Bemmelen, Landw. Versuchsstat. **21**, 135 (1878).

[2]) P. Ehrenberg, Beweg. Ammoniakstickst. Natur (Berlin 1907) 145—164, 169—179.

[3]) G. Wiegner, Journ. Landw. **60**, 111—129 (1912).

[4]) J. M. van Bemmelen, Absorption 127.

[5]) G. Wiegner, a. a. O. 141.

[6]) F. H. Campbell, Landw. Versuchsstat. **65**, 250—252 (1907).

[7]) J. M. van Bemmelen, Absorption 127 u. 443. Ferner Landw. Versuchsstationen **21**, 136 (1878).

[8]) Die Stellung des Lithiums zuunterst in der Reihe für geringere Konzentrationen besonders gegenüber dem Kalium wurde bereits von J. Iwanoff ermittelt. Vgl. Ber. Deutsch. chem. Ges. **10**, 709 (1877). Vgl. auch M Böttcher, Dissert. Dresden (1908).

nium aber die Stellung an der Spitze beibehält. Dadurch wird in jedem Falle das wichtigste, das Ammonium, am günstigsten gestellt, was für den Stickstoffhaushalt des Bodens keine geringe Bedeutung haben dürfte;[1]) aber auch das Kalium ist begünstigt.[2])

Kurz gestreift mag auch noch die Festigkeit der Bindung sein, welche für die durch Basenaustausch im Boden festgehaltenen Stoffe gilt. Man hat wohl zuerst an eine starke, der Aufschließungsfähigkeit der Pflanzenwurzeln wenigstens eine Zeitlang Widerstand leistende Bindung von Basen, in erster Linie Ammoniak und Kali, gedacht, weil schon J. Lemberg darauf hinwies, daß ammoniakhaltige Zeolithe keineswegs immer so unbeständig seien, als häufig angenommen wird.[3]) Sehr ähnlich äußerte sich auch J. M. van Bemmelen.[4]) Indessen kann diese Tatsache höchstens zu unsicheren Analogieschlüssen benutzt werden, denn wirkliche Zeolithe sind ja, wie erwähnt, im Erdboden bislang noch nicht nachgewiesen worden.[5]) Doch scheint aus manchen anderen Gründen gefolgert werden zu können, daß es sich auch im Boden um festere Bindungen handeln kann.[6]) M. Dittrich teilte mit, daß von zersetztem Gestein gebundenes Ammoniak selbst durch verdünnte Essigsäure nicht ausgezogen werden konnte.[7]) Dann finden sich ähnliche Angaben bei A. Orth, der die schädlichen Wirkungen gelegentlich des Heraufbringens des Untergrundes bei stärker adsorbierendem Lehm gegenüber schwächer adsorbierendem Lehmmergel durch die starke Festlegung von Pflanzennährstoffen erklären will.[8]) Ähnlich deutet G. Berju[9]) die geringe Zitronensäurelöslichkeit, die er in Lehmböden für Kali zu beobachten vermochte, durch auf Basenaustausch („Absorption“) begründete Zurückhaltung des Pflanzennährstoffs. 1% Zitronensäure

---

[1]) Auch bei zweifellos „reiner“ Adsorption von Basen der Alkalien durch Platinmohr, vgl. C. Kellner, Ann. Phys. Chem., n. F. **57**, 88 (1896), scheint, so weit man es aus den vorliegenden Werten entnehmen kann, Ammoniak stärker als Kali und dies stärker als Natron adsorbiert zu werden.

[2]) Auf die Wichtigkeit der stärkeren Festhaltung von Kali durch den Boden gegenüber dem Natron weist u. a. E. W. Hilgard hin, Soils (Neuyork 1906) 395.

[3]) J. Lemberg, Zeitschr. Deutsch. geolog. Ges. **28**, 586 (1876).

[4]) J. M. van Bemmelen, Landw. Versuchsstat. **21**, 139 (1878).

[5]) Vgl. E. Blanck, Fühlings landw. Ztg. **62**, 560 (1913).

[6]) Auch Angaben von G. S. Fraps, Amer. Chem. Journ. **32**, 1 (1904), wären wohl in dieser Richtung zu verstehen.

[7]) M. Dittrich, Mitteil. Großh. Bad. Geolog. Landesanst. **4**, 352 (1900).

[8]) A. Orth, Landw. Versuchsstat. **23**, 51 (1879); vgl. dazu G. de Villiers-Malherbe, Inauguraldissertation (München 1915).

[9]) G. Berju, Landw. Versuchsstat. **55**, 29, 31 (1901).

verringerte nach seinen Angaben die „Absorptionskraft" des Bodens nur wenig. Endlich liegen interessante Untersuchungen O. Kellners über diese Fragen vor, nach denen für Kali eine besonders feste Bindung durch Basenaustausch („Absorption") bei japanischen Böden festgestellt werden konnte,[1]) die nicht mehr durch weiteren Basenaustausch zu lösen war. Ähnliche Beobachtungen vermochten J. König und E. Haselhoff zu machen,[2]) ebenso ferner M. Dittrich,[3]) wie J. König, J. Hasenbäumer und H. Meyering,[4]) und weiter D. Prianischnikow.[5]) So war die experimentelle Prüfung der Frage durch Th. Pfeiffer,[6]) mit ihrem Schlusse, daß durch zeolithartige Substanzen [7]) eine beachtenswerte Festlegung von Ammoniak hervorgerufen werden könne, zu einem der allgemeinen Ansicht wohl mehr oder minder annehmbaren Ergebnis gekommen. In neuerer Zeit hat aber G. Wiegner in einer mit etwas anderer zeolithartiger Substanz angestellten Versuchsreihe wieder eine besondere „Festlegung" der im Basenaustausch aufgenommenen Stoffe bezweifeln zu müssen geglaubt.[8]) Allerdings sind die experimentellen Ergebnisse bei G. Wiegner mit erheblichen Fehlern behaftet,[9]) so daß auch die Stellungnahme G. Wiegners weniger auf sie begründet wird, als auf seine bereits erwähnten Untersuchungen über den Basenaustausch beim Permutit und seine damit zusammenhängenden Ansichten über die dabei maßgebenden Adsorptionserscheinungen. Weiter aber gibt G. Wiegner, wenn er auch eine „Festlegung" nicht annehmen will, doch die Möglichkeit einer für die Pflanzen ungünstigen Konzentrationsänderung zu, was praktisch genommen auf denselben Erfolg herauskommen dürfte. Es genügt wohl völlig, an der Hand des Massenwirkungsgesetzes ein Gleichgewicht chemischer Art anzunehmen, das durch verschiedene Umstände in günstiger oder un-

---

[1]) O. Kellner, Landw. Versuchsstat. **33**, 363 ff. (1887).

[2]) J. König und E. Haselhoff, Landw. Jahrb. **23**, 1023—1024 (1894).

[3]) M. Dittrich, Zeitschr. anorg. Chem. **47**, 160 ff. (1905).

[4]) J. König, J. Hasenbäumer und H. Meyering, Landw. Versuchsstat. **74**, 34 (1911).

[5]) D. Prianischnikow, Landw. Versuchsstat. (1913) 79/80, 667.

[6]) Th. Pfeiffer, Mitteil. landw. Inst. Univ. Breslau **3**, 299 (1905).

[7]) Aus Zement mit Kieselgur und Ocker nach A. Rümpler hergestellt. Ber. V. internat. Kongr. angew. Chemie, Abt. V, **3**, 59 (1903).

[8]) G. Wiegner, Journ. Landw. **61**, 11 (1913).

[9]) Ebendort 53. Dem nicht unwichtigen Umstand, daß G. Wiegner seine Versuche in innen nicht durch Anstrich geschützten Zinkgefäßen ausgeführt hat, ist nicht Rechnung getragen worden. A. a. O. 23. Vgl. auch P. Ehrenberg, Landw. Versuchsstat. **72**, 15 (1910).

günstiger Richtung für die Pflanzen verschoben wird, um die erhebliche Bedeutung des Eingreifens der Bodenkräfte in die Zusammensetzung der Bodenlösung und damit die Ernährung der Pflanze zu verdeutlichen. Weitere Untersuchungen sind nötig, um unter möglichster Vermeidung von Fehlerquellen noch sicherere Unterlagen zu bringen. Aber die soeben angegebene Deutung wird auch von D. J. Hissink an der Hand neuer Beobachtungen bestätigt, auf Grund deren anzunehmen ist, daß allerdings bei ungünstigen Feuchtigkeitsverhältnissen durch Basenaustausch gebundenes Ammoniak z. B. den Pflanzen teilweise über die Dauer einer Wachstumsperiode hinaus entzogen bleiben kann. Bei günstigsten Feuchtigkeitsverhältnissen wird eine solche „Festlegung" aber ausbleiben oder keine Bedeutung haben.[1]) L. Bernardini scheint auch die Möglichkeit einer ziemlich weitgehenden Festlegung anzunehmen. Jedenfalls glaubt er, daß durch Leuzit aufgenommenes Ammoniak der Auswäschung durch Regen entzogen ist.[2]) Und auch W. Schneidewind will an der Hand seiner neueren Gefäßversuche[3]) einen Entzug von Kali für die Pflanzen durch adsorptive Festlegung annehmen. Erst nach anderthalb Jahren wurde dies Kali wieder für die Pflanzen aufnahmefähig, war demnach ziemlich fest gebunden gewesen. Allerdings ist es bei W. Schneidewinds Versuchen auffallend, daß die feste Bindung des Kalis nur eintrat, wenn der Pflanzennährstoff, im Herbst gegeben, lange Zeit vor Beginn des Pflanzenwachstums in der Erde verweilen konnte. Die vorliegenden Versuchsdaten erlauben leider nicht, die Versuchsergebnisse als besonders gesichert zu betrachten.

Eine Besonderheit des Basenaustausches verdient hier noch für sich dargestellt zu werden, da sie möglicherweise berufen erscheint, bei weiterer Erkenntnis noch sehr wichtige Aufschlüsse über das Verhalten des Bodens zu zeitigen, aber auch bereits schon jetzt beachtenswerte Tatsachen zu erklären scheint.

Y. Kozai wies, nachdem bereits ähnliche Beobachtungen von F. P. Veitch[4]) gemacht waren, auf die Feststellung von natürlich sauren Mineralböden hin,[5]) die in Japan vorkommen und dort Verbreitung finden. K. Gedroiz stellte für Rußland entsprechende Vorkommnisse fest.[6]) G. Daikuhara hat dann in Verfolg dieser Mitteilung eingehend

[1]) D. J. Hissink, Landw. Versuchsstat. **81**, 419 (1913).
[2]) L. Bernardini, Staz. sper. agr. ital. **41**, 304 (1908).
[3]) W. Schneidewind, Arb. Deutsch. Landw.-Gesellsch. **193**, 7, 13—16 (1911).
[4]) F. P. Veitch, Journ. Amer. Chem. Soc. **26**, 637 (1904).
[5]) Y. Kozai, Chem. Ztg. **32**, 1187 (1908).
[6]) K. Gedroiz, Journ. exp. Ldw. **14**, 816 (1913); **15**, 206 (1914).

über diese sauren Mineralböden berichtet,[1]) die sowohl sandiger, wie lehmiger und toniger Art sein können. Er stellte fest, daß sie bei Behandlung mit Neutralsalzlösungen noch stärker sauer reagieren, und daß dann in der Flüssigkeit Tonerde, selten Eisen nachzuweisen ist. Diese Bedeutung der Tonerdeverbindungen für die sauren Eigenschaften der erwähnten Mineralböden brachte dann bislang nicht weiter beachtete Untersuchungen von J. M. van Bemmelen in Erinnerung, nach denen mit Säure ausgewaschene Böden trotz wiederholten Auswaschens, Trocknens und Wiederauswaschens sauere Reaktion zeigten. Auch einen natürlich saueren Boden dieser Art, der ebenso wie der ausgewaschene als Ursache der Azidität einen Gehalt an Aluminiumsalz erkennen ließ, hatte van Bemmelen beobachtet.[2]) Bezüglich mit Säure behandelter Böden machten weiter A. Mayer, H. Hellriegel und dann P. de Mondésir und andere die gleiche Beobachtung.[3]) De Mondésir gibt an, daß die Azidität des Bodens, die so entsteht, sogar kalte, konzentrierte Salzsäure, ja, mehrere Stunden lange Behandlung mit kochender Salpetersäure erträgt, und bei Verbrennung des Bodens bei dunkler Rotglut nach Behandeln mit kalter, verdünnter Säure und Waschen mit Wasser, sowie mehrere Stunden dauerndem Erhitzen auf 160—170° vorhanden bleibt.[4]) Ähnliche Widerstandsfähigkeit dieser Bodenazidität gegen das Erhitzen fand später gleichfalls G. Daikuhara.[5]) Dieser ermittelte auch, daß nicht nur Auswaschen von Boden mit verdünnter Essigsäure, sondern auch von feingepulverten Gesteinsmassen mit wässeriger Kohlensäurelösung[6]) die fragliche Azidität herbeiführte. Später hat dann H. Kappen als weitere Ursache dieser Azidität den Einfluß saurer Humuslösungen ermittelt,[7]) und in einer ganzen Reihe wertvoller Feststellungen die Frage eingehend weiter durchforscht. Die von ihm als Ionenaustauschazidität bezeichnete Erscheinung stellt sich am

---

[1]) G. Daikuhara, Bull. Centr. Agricult. Exp. Stat. Japan 2, 1 (1914).

[2]) J. M. van Bemmelen, Landw. Versuchsstat. 21, 160 (1878).

[3]) A. Mayer fand bei einem mit Salzsäure ausgelaugten Lehmboden, daß derselbe dann trotz allen Waschens mit Wasser von sauerer Reaktion blieb. Landw. Versuchsstat. 26, 331 (1881). H. Hellriegel, nach mündlicher Mitteilung seines Nachfolgers, Prof. Dr. Krüger-Bernburg. P. de Mondésir, Compt. rend. 115, 316 (1892). I. E. Harris, Journ. Phys. Chem. 18, 355 (1914) macht gleiche Mitteilungen über säurebehandelten und ausgewaschenen Kaolin: „Dabei läßt sich zeigen, daß diese Wirkung nicht etwa durch adsorptiv zurückgehaltene Säure bedingt ist."

[4]) Daß die Bodenazidität dieser Art bei de Mondésir auch Behandeln des Bodens mit Chamäleonlösung unter 100°, sowie 2—3 Minuten langes Auskochen mit 15% Kalilauge aushält, muß etwas überraschen und ist noch nicht von anderer Seite bestätigt.

[5]) a. a. O. 25. Ähnlich viel früher schon H. Hellriegel.

[6]) a. a. O. 9/10, 13/15.

[7]) H. Kappen, Landw. Versuchsstat. 88, 13 (1916).

deutlichsten dadurch dar, daß die mit ihr behafteten Böden in Berührung mit Lösungen echter Neutralsalze dieselben sauer reagieren lassen. Der Vorgang beruht nach H. Kappen[1]) „auf dem Austausch der Ionen des auf den Boden zur Einwirkung gebrachten Neutralsalzes gegen Aluminium- und in untergeordnetem Grade auch Eisenionen, die in austauschfähiger Form in den kolloiden Bestandteilen des Bodens enthalten sind. Ihre Entstehung nimmt diese Befähigung der Böden zum Austausch von Aluminium- und Eisenionen dadurch, daß Tonerde- und Eisensalze, die sich im oder auf dem Boden bilden, mit den Bodenkolloiden in Ionenaustausch treten, wobei Kalzium- und andere Metallionen aus den Kolloiden austreten, und Aluminium- und andere Ionen in dieselben Eingang finden".

An der Hand der bereits in früheren Auflagen dieses Buches geäußerten Anschauungen,[2]) die ich nur noch etwas weiter auszuführen habe, sei versucht, eine abschließende Erklärung zu geben. Festzuhalten ist an der Tatsache, daß Behandlung mit allen Säuren, die in Frage kommen könnten, anorganischen wie organischen bis zur Kohlensäure, Mineralstoffen diese Fähigkeit gibt, und ebenso auch Humusstoffen.[3]) Allerdings ist sie dann vielfach noch gering,[4]) vermutlich infolge nur schwacher Säurewirkung.[5]) Doch kann sie auf hier zunächst noch nicht zu besprechende Weise gesteigert werden.[6])

Man muß sich hierbei an die Versuche G. Lemberg's erinnern, der, wie später G. Daikuhara bei verschiedenen Zeolithen durch Essigsäure diese hier besprochene Azidität erhielt,[7]) so ebenfalls für Zeolithe bei Behandlung mit kohlensaurem Wasser eine der in ihnen enthaltenen Basen durch „basisches Wasser" ersetzen konnte.[8]) Man kann offenbar die zeolithartig gebundenen oder adsorbierten Metallionen durch Wasserstoffion ersetzen, eine Form des Basenaustausches, die an sich nahe liegt. Wasserstoffion ist, was Lemberg „basisches Wasser" nannte; der den anderen Kationen, den „basischen" Teilen von Salzen, entsprechende Anteil des Wassers. Es liegt in der hier besprochenen Azidität gewisser Mineral- und auch Humusböden nur die Wirkung des Eintritts von solchem,

[1]) H. Kappen, Landw. Versuchsstat. **96**, 279/280 (1920).

[2]) P. Ehrenberg, Bodenkolloide, 2. Aufl. 313 u. f. (1918).

[3]) H. Kappen, a. a. O. 280 u. f.; ebenda 89, 39 u. f. (1917); **90**, 320 u. f. (1917). G. Daikuhara, a. a. O. 9.

[4]) H. Kappen, a. a. O. **96**, 281 (1920).

[5]) Ebenda.

[6]) Ebenda.

[7]) A. a. O. 9.

[8]) G. Lemberg, Inauguraldissertation Dorpat (1877) 60 u. f.; Zeitschr. Deutsch. Geol. Ges. **40**, 649 (1888).

mit G. Lemberg zu sprechen, „basischem Wasser“ an Stelle der „basischen“ Anteile von Salzen in den Boden bzw. das Gestein vor.

Dabei muß nun natürlich solch mit Säure ausgezogener Erdboden, wie P. de Mondésir feststellte,[1]) mehr Kalk (und andere Basen) in Lösung gehen lassen, als zur Sättigung der gleichfalls ausgezogenen Kohlensäure, Phosphorsäure u. dgl. notwendig sind. Auch die vorhandenen Humussäuren vermögen nach seinen Bestimmungen nur etwa die Hälfte dieses Kalküberschusses zu binden. Die andere Hälfte desselben ist eben durch Wasserstoffion aus der zum Auswaschen benutzten Säure, Lembergs „basisches Wasser“, in seiner adsorptiven[2]) Bindung im Gestein ersetzt worden, weshalb in der Lösung natürlich keine ihr entsprechende Säuremenge aus dem Gestein auftreten kann. Den abschließenden Beweis dafür liefert wieder P. de Mondésirs Mitteilung,[1]) daß die von dem ausgewaschenen Boden gezeigte Azidität dann dem erwähnten, nicht durch nachzuweisende Säuren zu bindenden Kalküberschuß proportional ist. Ganz entsprechend stellt G. Daikuhara es als merkwürdig fest, daß durch kohlensäurehaltiges Wasser eine so große Menge von MgO, CaO, Fe_2O_3, Na_2O aufgelöst worden ist, während sehr wenig P_2O_5, SiO_2 [und K_2O] in die Lösung kam.[3])

Hiermit dürfte es erwiesen sein, daß durch Säure ausgewaschener Mineralboden, Humusboden oder Zeolith, anstelle der sonst festgehaltenen Metallionen das Wasserstoffion enthält und so eine Azidität aufweist, die sich nicht durch Wasser lösen, wohl aber als der festen Bodenmasse anhaftend kennzeichnen läßt, wie dies häufig festgestellt werden konnte.[4]) Daß solch Boden wieder sein Wasserstoffion gegen ein anderes Kation austauschen kann, liegt nahe. Bei Basen, und Salzen schwacher Säuren, die durch hydrolytische Spaltung basische Anteile aufweisen, muß dabei Adsorption scheinbar ohne Austausch eintreten, da das austretende Wasserstoffion mit dem Hydroxylion der Base zu Wasser zusammentritt und demgemäß nicht zur Beobachtung gelangt. So beobachtete J. M. van Bemmelen, daß „aus Lösungen von Salzen mit schwächeren Säuren auch dann noch Adsorption stattfand, wenn kein Austausch zwischen der Basis des Salzes und einer Basis der adsorbierenden Substanz mehr möglich war“, nämlich wenn die Erde mit starker Salzsäure ausgekocht und ausgewaschen

[1]) A. a. O.

[2]) Oder zeolithartigen.

[3]) A. a. O. 12.

[4]) In meinem Institut von S. E. Mattson, schon vor Jahren von amerikanischen Bodenforschern, auch von G. Daikuhara, a. a. O. 6/7; weiter von H. Kappen, Landw. Versuchsstat. 88, 77/78 (1916).

war, bzw. nur hydratische Kieselsäure zu dem Adsorptionsversuch diente.[1])

Die Möglichkeit einer derartigen Bindung des Wasserstoffions ist gleichfalls an der Hand bekannter Erscheinungen an Kolloiden aufzuklären. So wird bei Herstellung von Arsensulfidkolloid Schwefelwasserstoff, der aus dem üblichen Herstellungsverfahren herrührt, adsorbiert; offenbar zunächst das Sulfidion, während das Wasserstoffion durch die elektrischen Anziehungskräfte mit festgehalten wird. Dies Wasserstoffion tritt nun gegen das Kation eines Elektrolyten, mit dem man die kolloide Lösung fällt, Chlorkalzium oder Chlorbarium, aus der Bindung an das Arsensulfid aus, während dafür Kalzium- oder Bariumion an dasselbe gebunden in den Niederschlag geht.[2]) Auch bei diesem Vorgang ist wie bei dem Basenaustausch Äquivalenz zu beobachten.[3])

Wird im Boden durch Zerkleinerung und Herauswaschung einzelner Bestandteile Gestein zu Ton aufgearbeitet, oder bildet sich aus Pflanzenresten Humus, so werden diese Stoffe aus dem sie umgebenden Wasser Hydroxylion adsorbieren, das überhaupt sehr stark adsorbiert wird.[4]) Bis auf sehr kleine Mengen, welche nachher den Ladungsunterschied zwischen dem Kolloid und dem Wasser bedingen, müssen natürlich dem Hydroxylion infolge der elektrischen Anziehungskräfte die Wasserstoffionen folgen und werden so gleichfalls von dem Ton, Humus oder den Gesteinsresten usw festgehalten. Gegen sie findet dann, wenn infolge des Hinzutretens von Elektrolyten Ausfällung erfolgt, Basenaustausch unter Aufnahme von irgendeinem metallischen Kation und Abgabe von Wasserstoffion statt. Der Vorgang läge so ganz gleich wie bei dem Arsensulfid. Wird nun wieder durch Behandeln mit Säure das metallische Kation gegen Säurewasserstoff, also gegen das Wasserstoffion ausgetauscht, so haben wir die Erscheinung, welche uns hier besonders fesselte.

Eine Besonderheit bedarf freilich noch weiterer Erklärung. Seit G. Daikuharas Beobachtungen ist die Aufmerksamkeit darauf gerichtet geblieben, daß, wenn ein solcher saurer Boden durch Umsetzung mit einem

[1]) J. M. van Bemmelen, Journ. prakt. Chem. N. F. 23, 324 (1881). Die mit Säureüberschuß aus Wasserglaslösung hergestellte hydratische Kieselsäure enthielt vermutlich auch Wasserstoffion in austauschbarer Form gebunden, soweit nicht etwa auch rein chemische Reaktion in Frage gekommen sein dürfte.

[2]) H. Pikton und S. Linder, Journ. Chem. Soc. 67, 63 (1895).

[3]) M. Whitney und J E. Ober, Zeitschr. phys. Chem. 39, 630 (1902); H. Freundlich, Kolloidzeitschr. 1, 321 (1907).

[4]) Vgl. unten 286, auch 283.

Neutralsalz die Lösung sauer werden läßt, in dieser Lösung auch Aluminium-, weniger Eisensalze auftreten.[1])

Bereits oben konnte H. Kappens Erklärung für diesen Vorgang wiedergegeben werden. Er erwägt übrigens einmal die Möglichkeit, daß die von ihm beobachtete Lösung von Aluminium- und weniger Eisenhydroxyd nur durch die, beim Basenaustausch gegen einen derart sauren Boden frei gemachte Säure zustande kommen könne; lehnt diese Möglichkeit aber auf Grund eines Lösungsversuchs ab, bei dem er Humusboden mit Salzsäure von einer Konzentration auszieht, wie sie der beim Basenaustausch entstandenen Reaktion entspricht,[2]) ohne dabei eine Spur Tonerde oder Eisenoxyd lösen zu können. Mir erscheint diese Folgerung nicht durchaus beweisend. Denn man kann sich sehr wohl vorstellen, daß beim Ausziehen eines Bodens mit Säure, zumal wenn er, wie der von H. Kappen benutzte Moorboden, nur mäßige Mengen der erwähnten Verbindungen enthält, derselbe etwa in Lösung gehende Mengen der so stark adsorbierbaren dreiwertigen Metallionen alsbald wieder adsorbiert, zumal er durch die Behandlung mit Salzsäure die nicht so weitgehend adsorbierbaren zwei- und einwertigen Metallionen ohnehin verliert.

Es sei noch darauf hingewiesen, daß überhaupt bei der Behandlung mit Säure ein Boden oder ein Gestein zumeist auch in ihm vorhandene Eisen- und Tonerdeverbindungen, die durchaus nicht etwa vorher adsorptiv gebunden zu sein brauchen, in Lösung gehen lassen wird. Gerade die Tonerde scheint in dieser Hinsicht sehr leicht in Lösung zu gehen, wenigstens aus Basenaustausch aufweisenden Mineralien. Jedenfalls konnte G. Wiegner[3]) feststellen, daß „beim Auswaschen der Gele der Austauschzeolithe mit Wasser zumeist zuerst $Al(OH)_3$ in den Solzustand überführt wird". Da wird natürlich verdünnte oder gar starke Säure noch erheblicher Aluminiumionen in Lösung bringen. Das geht auch aus G. Daikuharas Zahlen hervor, der, wenn er eine auf die Kalkverbindungen des Bodens nicht wirkende Säure benutzte, erhebliche Mengen auch von Tonerde lösen konnte.[4]) Andernfalls trat diese vermutlich stark an Stelle des herausgelösten Kalziumions in die Bindung des Bodens ein.

Es scheint mir also zur Erklärung der Befunde von H. Kappen und seinen Vorgängern auszureichen, wenn man annimmt, daß durch Auslaugung

[1]) H. Kappen, Landw. Versuchsstat. 88, 91 u. 95 (1916); auch 64. Ebenda 90, 350 (1917).

[2]) H. Kappen, Landwirtsch. Versuchsstat. 90, 351/2 (1917).

[3]) G. Wiegner, Boden u. Bodenbildung (Dresden u. Leipzig 1918) 43.

[4]) G. Daikuhara, a. a. O. 14/15.

mit Säure der Boden seine adsorbierten Metallionen verliert und dafür Wasserstoffion bindet. Gleichzeitig wird indessen durch die Säure im Boden meist auch Eisen und zumal Aluminium gelöst. Diese stark adsorptionsfähigen, dreiwertigen Ionen, von denen vom Aluminium infolge seiner wesentlich geringeren hydrolytischen Spaltung erheblich mehr vorhanden sein werden als vom Eisen[1]), adsorbiert nun der durch die Säurebehandlung mit Wasserstoffion gesättigte[2]) Boden ganz erheblich, unter Abgabe von Wasserstoffion, dessen Austritt aber in der Säurelösung natürlich nicht auffällt. Kommt nun eine Neutralsalzlösung mit Boden in Berührung, der auf diese Weise Aluminiumion und etwas Eisenion adsorbieren konnte, so tritt natürlich dafür den Konzentrationsverhältnissen entsprechend Aufnahme eines anderen Metallions ein und Aluminium bzw. Eisen erscheint in der Lösung, ganz wie dies H. Kappen ja auch annimmt.

Die Möglichkeit, einem Boden durch Behandlung mit Aluminium- bzw. Eisensalzen die Fähigkeit dieser Neutralsalzzersetzung in verstärktem Maße zu verleihen, wie H. Kappen das mehrfach nachgewiesen hat, ist gleichfalls auf diese Weise verständlich. Einmal wird ein Austausch anderer, adsorbierter Metall- und Wasserstoffionen gegen die Aluminium- bzw. Eisenionen den Adsorptionsstärken der Ionen und den Konzentrationen entsprechend eintreten und hierbei bereits eine Grundlage für die später gegen ein Neutralsalz auftretende Abgabe dieser Ionen geschaffen. Dann aber muß die durch Hydrolyse mehr oder weniger sauer reagierende Lösung der beiden dreiwertigen Metalle an sich noch als Säure auf den Boden wirken, und ihm solche Basen, die nicht über besonders hohe Adsorptionsfähigkeit verfügen, nehmen, und dafür zunächst Wasserstoffion, und für dies, wie dargelegt, wieder Aluminium- oder Eisenion eintreten lassen. Dazu kommt noch, daß vermutlich auch noch durch gegenseitige, mit Adsorption verbundene Ausflockung Tonerde- bzw. Eisenkolloid gegeneinander wie gegen andere Kolloide im Boden festgelegt werden können, um später auch dem Basenaustausch gegen ein Neutralsalz bzw. dessen Metallion zu unterliegen.

dd) Förderung der Krümelbildung im Boden durch Adsorption.

Bereits in den soeben beendeten Abschnitten konnte auf den engen Zusammenhang zwischen Adsorption und Ausflockung von Bodenkolloiden aufmerksam gemacht werden. Dies

[1]) Auch H. Kappen weist hierauf hin, vgl. Landw. Versuchsstat. **96**, **283** (**1920**).

[2]) E. Ramann würde, wie man sieht, nicht ganz exakt solchen Boden „adsorptiv ungesättigt" nennen.

bisher noch gar nicht bearbeitete Gebiet der Bodenkunde und Düngerlehre verspricht mit der Zeit für die Kenntnis des Bodengefüges sehr wichtig zu werden. Es wird sich hierbei freilich nicht sowohl um die Bildung schon etwas größerer Haufwerke von Bodenteilchen handeln. Hierfür wird die Wirkung adsorbierter Bodenkolloide wohl ungleich wichtiger sein, die in einer Unterabteilung des folgenden Abschnittes auch zur Besprechung kommt. Dagegen muß für die Bildung feiner und feinster Aggregate im Boden die Wirkung der Adsorption und Entladung der Aufschwemmungsteilchen, der dann nach R. Zsigmondy gegenseitige Anziehung derselben folgt, von maßgebender Bedeutung sein. Einen Hinweis hierauf geben Beobachtungen von J. P. van Zyl.[1]) Er fand, daß sowohl beim Schlämmen mit Leitungswasser, wie ebenso mit künstlich hergestellten Bodenlösungen recht merkbare Mengen von Elektrolyten zur Adsorption kamen, und gleichzeitig die Bodenaggregate ganz erheblich schwieriger und langsamer aufzulösen waren. Ähnliches konnte H. Kappen feststellen, wenn er auch allerdings wohl irrtümlich annimmt, daß in dieser Richtung maßgebende Unterschiede zwischen dem Verhalten von Elektrolyten und Kolloiden bei ihrer Adsorption beständen.[2]) Noch deutlicher sind vielleicht Beobachtungen G. Givens.[3]) Als dieser Ton zum Gefrieren brachte, der zum Teil reichlich Kalziumhydroxyd hatte adsorbieren können, zum Teil aber nur in Wasser aufgeschwemmt war, zeigte sich, als die durch den Frost gebildeten Krümel vom Wasser getrennt, und bei Zimmerwärme getrocknet wurden, folgendes: Die Brocken des vor dem Gefrieren mit Kalk gesättigten Tones behielten beim Trocknen ihre Gestalt und Lage bei. Die Teilchen des Tons dagegen, der nicht Kalk hatte adsorbieren können, schienen unter dem Einfluß ihres Gewichtes bei dem allmählichen, langsamen Austrocknen ineinander zu verschmelzen, ähnlich wie zusammengehäufte Pech- oder Asphaltstücke, wenn sie erwärmt werden.

Die Bildung von besonders festen, widerstandsfähigen Aggregaten im Boden, welche dann für die gröberen Haufwerke, die Bodenkrümel, die Grundlage bilden, muß derart mit der Adsorption und Ausflockung im Boden in Zusammenhang gebracht werden, und kann in ihrer Bedeutung für das Gefüge desselben nicht leicht überschätzt werden, so wenig wir bislang auch über ausreichende Kenntnisse auf diesem Gebiete verfügen. Zwar werden mannigfache andere Umstände bald fördernd,

[1]) J. P. van Zyl, Inauguraldissertation Göttingen 59, 64/65 (1916).
[2]) H. Kappen, Landw. Versuchsstat. **88**, 36 (1916).
[3]) G. Given, Inauguraldissertation Göttingen (1915) 21/22.

bald hemmend hinzutreten.[1]) Doch ermöglichen uns bereits Versuche von E. C. J. Mohr[2]) einen gewissen Einblick. Durch Adsorption von Ammoniak, und so bedingte Aufladung der Bodenteilchen vermochte er einerseits die feinen Haufwerke des Bodens zu zerstören, während er andererseits unter möglichster Schonung derselben arbeitete. Die beiden so erhaltenen Ergebnisse der mechanischen Analyse wiesen zum Teil ganz ungeheure Verschiedenheiten auf, von denen ich ein Beispiel geben möchte. (Vgl. Abbildung 10 und 11.)

Im natürlichen Zustande setzt sich, wie die Darstellung A zeigt, der Boden fast ganz aus Krümelteilchen zwischen $^1/_{10}$ und 1 mm Durchmesser zusammen, das feinere Material ballt sich überdies noch zu Flocken zusammen, welche mit den Teilchen von $^1/_{10}$ mm bis 20 μ Durchmesser niederfallen. So ist es begreiflich, daß ein derartiger Boden sich dem Regen und der Luft gegenüber wie ein Sandboden verhält, d. h. z. B. nach einem Platzregen schnell wieder abtrocknet. Man erinnere sich, daß besonders bei den Böden arider Klimate immer wieder die Angabe wiederkehrt, daß sie sandiger Natur seien, was gewiß oft weniger auf tatsächlich vorhandene, gröbere Einzelteile, als auf Adsorption und Zusammenballung durch die in viel reichlicherer Menge vorhandenen Elektrolyten zurückzuführen

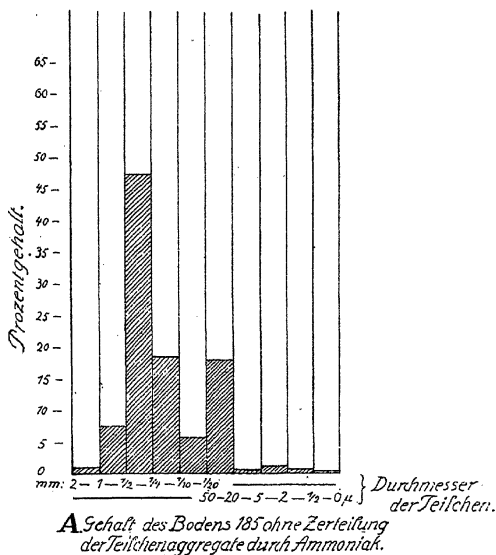



Abb. 10.

[1]) Vgl. J. P. van Zyl, a. a. O. 62 u. f.; P. Ehrenberg und J. P. van Zyl, im Laufe 1917 erscheinende Abhandlungen; Intern. Mittlg. Bodenk. 7, 90, (1917).

[2]) E. C. J. Mohr, Bull. Départ. Agric. Indes Néerland 47, (Géol. Agron. 9) 17 (1911).

ist. — Wenden wir uns zur Darstellung B des Bodens, die sein tatsächliches, wir wollen sagen, sein „Grundgefüge" wiedergibt, so zeigen sich feinste und allerfeinste, kolloide Teilchen in weitaus überwiegender Menge. Das adsorbierte Ammoniak, natürlich in erster Linie sein Hydroxylion, hat die Teilchen aufgeladen, und so aufgeschwemmt, die Haufwerke zerstört. Das gleiche muß natürlich nicht nur beim Versuch, sondern auch in natürlicher Lagerung möglich sein, wenn die vorher adsorbierten Ionen, über deren Natur Mohr leider nichts mitgeteilt hat — eine Untersuchung des Wassers nach Behandlung des Bodens mit Ammoniak hätte darüber Auskunft geben müssen —, irgendwie beseitigt werden, was u. a. durch große elektrolytarme Wassermengen, wie sie die tropischen Regengüsse zur Verfügung stellen, möglich sein muß. Und in der Tat berichtet Mohr über den Boden weiter: Wenn nicht bewachsen und schlecht bearbeitet, ist er jedoch oberflächlich der Wirkung von viel Regen, — also sozusagen von viel destilliertem Wasser — ausgesetzt. Dabei gehen viele Krümel auseinander, das feine Material dringt ein, und setzt sich wieder in den Poren; kurz, — der Boden „schlägt zu". Es mag noch erwähnt sein, daß bei dem von Mohr angeführten Boden es sich wahrscheinlich um ein Zusammengehaltenwerden der feinsten Teilchen durch adsorbiertes Eisenhydroxyd handelt, entsprechend den ohne Beachtung der Mohrschen Arbeiten zu ganz anderen Zwecken unternommenen und daher hier noch unzureichenden Untersuchungen H. Kappens über den Einfluß einer Behandlung von Tonboden mit Eisenhydroxyd mit und ohne Behandlung mit Ammoniak vor der Schlämmung.[1]) — So bald wie möglich wird das Göttinger agrikulturchemische Institut versuchen, weitere Klarheit auf diesem Gebiet herbeizuführen. Bislang brauchten dahingehende Bemühungen trotz des

B. Gehalt des Bodens 185 nach Zerteilung der Teilchenaggregate durch Ammoniak.

Abb. 11.

[1]) H. Kappen, Landw. Versuchsstat. **88**, 43 (1916).

Krieges noch nicht ganz zu ruhen. Hoffentlich ist das auch in Zukunft der Fall. Jetzt handelte es sich nur darum, die Bedeutung des hier vorliegenden Gebietes zum ersten Mal einem weiteren Kreise darzutun, wofür diese kurzen Hinweise genügen werden.

4. Adsorption von Kolloiden und festen Stoffen.

a) Theoretisches.

Die Adsorption von Kolloiden aus Wasser durch die Bodenbestandteile, besonders natürlich durch diejenigen mit großer Oberfläche, wird uns noch etwas mehr zu beschäftigen haben. Daß auch hierbei Oberflächenwirkungen wesentlich in Betracht kommen, dürfte an der Hand der Arbeiten von W. Ramsden zugegeben werden müssen, da dieser Forscher durch bloßes Schütteln an der Luft Kolloide aus einer Flüssigkeit in dem große Oberflächen aufweisenden Schaum anhäufen konnte.[1] An die Oberflächenwirkung wird sich je nach den Umständen dann auch eine chemische Veränderung der in den Oberflächen stark konzentrierten und wohl auch sonst noch unter besonderen Einflüssen stehenden Kolloide anschließen können, zumal wir neuerdings mit der Tatsache zu rechnen lernten, daß von der gewöhnlichen Elektrolytfällung zu der als gegenseitige Ausfällung entgegengesetzt geladener Kolloide bekannten Erscheinung ein Übergang besteht.[2] Was chemische Umsetzungen anbelangt, so konnte der soeben genannte Forscher solche bei Adsorption für Eiweiß beobachten. Auch die Untersuchungen von M. V. Metcalf[3] und K. Winkelblech[4] sind zu erwähnen.[5]

Die vorerwähnten Forscher haben nun wesentlich die Anhäufung von Kolloiden und ähnlichen Stoffen in Schäumen oder in der Oberfläche von Gasblasen beobachtet, was für landwirtschaftliche Verhältnisse kaum große Bedeutung besitzen dürfte Es ist aber nicht daran zu zweifeln, daß auch an anderen Grenzflächen, nicht nur zwischen flüssig-gasförmig wie beim Schaum, sondern auch zwischen flüssig-flüssig und auch flüssig-fest ähnliche Erscheinungen auftreten. Für flüssig-flüssig hat W. Ramsden

[1]) W. Ramsden, Arch. Anat. Physiol., physiol. Abt. (1894) 517, und Zeitschr. physik. Chem. **47**, 336 (1904).

[2]) J. A. Gann, Inauguraldissertation Göttingen (1916) 46.

[3]) M. V. Metcalf, Zeitschr. physik. Chem. **52**, 1 (1905).

[4]) K. Winkelblech, Zeitschr. angew. Chem. **19**, 1953 (1906).

[5]) Vgl. auch Wo. Ostwald, Grundriß Kolloidchemie, 1. Aufl. (Dresden 1909) 439.

dies bei einigen Emulsionen, so z. B. weitgehend verteiltem Olivenöl in Wasser, selbst ermittelt, woraus er denn auch den Schluß zog, daß die oft behauptete und oft bestrittene Bildung einer „Haptogenmembran" um die Fettkügelchen der Milch[1]) nicht länger in Zweifel gezogen werden könne.[2])

Daß ganz ähnliche Erscheinungen auch an der Grenzfläche von flüssig-fest auftreten, konnte unter anderen in einer uns hier fesselnden Weise W. R. Williams[3]) zeigen. Warf er in Gläser, die in Wasser aufgeschwemmten Tonschlamm enthielten, feinen, reingewaschenen Sand hinein, so überzog sich dieser mit einem je nach dem Schlammgehalt des Wassers wechselnden Überzug. In ähnlicher Weise stellte auch J. Dumont[4]) einen Überzug der Sandkörnchen durch kolloiden Ton und Humus fest, und ebenso vermochte bereits F. Senft[5]) für Humus und Th. B. Osborne[6]) für feine Ton- und andere Teilchen von solchen Überzügen zu sprechen. Schlösing, dieser noch viel zu wenig für die Bodenkunde gewürdigte Forscher,[7]) hat sogar bereits die Adsorptionswirkung, durch die sich Bodenteilchen mit einer Hülle von z. B. Humusstoffen aus dem Bodenwasser umgeben, ziemlich deutlich umschrieben.[8]) Auch der erste Agrikulturchemiker, der kolloidchemische Probleme untersuchte, F. Schulze, gibt derartige Hinweise;[9]) ja man darf wohl schon Angaben H. Davys hier erwähnen.[10]) W. H. Fry und J. A. Cullen[11]) beschäftigen sich ebenso wie J. Dumont[12]) mit den einzelne Bodenteilchen umgebenden Eisenhüllen.

[1]) Vgl. hierzu u. a. H. Struve, Journ. prakt. Chem. **27**, 249 (1883); E. Klusemann, Inauguraldissertation (Leipzig 1893); V. Storch, 36 Beretn. Kgl. Veterinär-Landbohöjskoles Laboratorium för landökonomiske Forsög, (Kopenhagen 1897) 1; A. A. Bonnema, Milchwirtsch. Zentralbl. **1**, 26 (1905); W. Winkler, Zeitschr. landw. Versuchsw. Österr. **10**, 603 (1908).

[2]) W. Ramsden, Zeitschr. physik. Chem. **47**, 343 (1904).

[3]) W. R. Williams, Forsch. Geb. Agrikulturphysik **18**, 263 (1895).

[4]) J. Dumont, Compt. rend. z. B. **140**, 1111 (1905); **142**, 345 (1906); **149**, 1087 (1909); **153**, 889 (1911).

[5]) F. Senft, Steinschutt u. Erdboden (Berlin 1867) 318—319.

[6]) Th. B. Osborne, Annual Rep. Connecticut Agric. Exp. Stat. 1886 (New Haven 1887).

[7]) Wie stets ist Th. Schlösing d. Ä. gemeint, wenn nähere Angaben fehlen.

[8]) Th. Schlösing d. Ä., Compt. rend. **135**, 604 (1902).

[9]) F. Schulze, Ann. d. Phys. u. Chem. **129**, (5) 9, 382 (1866).

[10]) H. Davy, Elem. Agrikulturchemie, übers. A. Thaer (Berlin 1814) 211.

[11]) W. H. Fry und J. A. Cullen, Journ. Ind. Eng. Chem. **7**, 40 (1915).

[12]) J. Dumont, a. a. O.

Solche Vorkommnisse sind auch für andere Fälle als diejenigen der Bodenkunde schon seit einiger Zeit bekannt. Kolloides Gold und viele andere Kolloide werden durch fein verteilte feste Stoffe, wie Tierkohle, Bariumsulfat, Tonerdegallert, weitgehend aufgenommen.[1]) Ein sehr auffallendes Beispiel bietet ein von R. Zsigmondy beschriebener Vorlesungsversuch,[2]) bei dem tiefblaue Molybdänblaulösung mit Tierkohle einmal geschüttelt und dadurch der Farbstoff aus der Flüssigkeit entfernt wird. Das Filtrat ist farblos. Ja sogar gröbere Aufschwemmungen, nicht nur wirkliche Kolloide, dürften gelegentlich derart adsorbiert werden. Für die Grenzfläche flüssig-gasförmig, also für Gasblasen in einer Flüssigkeit, ist dies wenigstens bei feinstem Kohle- und Schwefelpulver in Wasser, bei Gummigutt- und Karmintrübungen ermittelt worden,[3]) und es ist durchaus möglich, daß der entsprechende Vorgang auch an der Grenzfläche flüssig-fest stattfindet. Denn daß auch diese Grenzfläche weitgehender Wirkungen fähig ist, geht unter anderem, abgesehen von dem bereits Gesagten, aus der Beobachtung Th. Grahams hervor, daß fein verteilte Pulver etwa Graphit, die kolloide Kieselsäure aus ihren Lösungen fällen.[4])

Die Bedeutung der Bildung von Adsorptionshüllen der mannigfaltigen Bodenkolloide um die festen, kleinen Körnchen des Bodens kann kaum überschätzt werden. Daß sie in großer, fast absoluter Ausdehnung für die Sandkörnchen im Boden auftritt, kann um so weniger überraschen, als schon R. Marc[5]) feststellen konnte, daß Kolloide ganz vorzugsweise von feinkristallinischen Stoffen adsorbiert werden. An vielen Stellen dieses Buches wird immer wieder die große Bedeutung derartiger Hüllen betont. Hier sei nur noch einmal hervorgehoben, daß sie alle Versuche, durch Auswaschen oder in ähnlicher Weise gewonnene, mehr oder weniger der wirklichen Bodenlösung entsprechende Flüssigkeiten als Prüfstein für den Kolloidgehalt des Bodens zu benutzen, ohne weiteres vereiteln muß. Die Bodenlösung wird selbst, wenn die Bodenkolloide durch Hydroxylioneneinfluß weitgehend in den Sol-Zustand übergegangen sind, noch immer nur verhältnismäßig wenig davon enthalten. Denn sogar bei der

[1]) Vgl. u. a. R. Zsigmondy, Verh. deutsch. Naturforsch.-Versamml. Hamburg (1901) 168. W. Biltz, Nachr. Kgl. Ges. Wiss. Göttingen, mathem.-physik. Kl. (1905) 46 u. a.

[2]) R. Zsigmondy, Kolloidchemie (Leipzig 1912) 65.

[3]) W. Ramsden, Zeitschr. physik. Chem. **47**, 338, 346 (1904).

[4]) Th. Graham, Ann. Chem. u. Phys. **135**, 65 (1865).

[5]) R. Marc, Zeitschr. phys. Chem. **81**, 641 (1912).

Gewinnung von Kolloidten nach Schlösing gelingt es trotz weitestgehender Verwendung großer Mengen mit Ammoniak versetzten, destillierten Wassers nicht, die Bodenkörnchen völlig von ihren Kolloidhüllen zu befreien. Um so weniger wird bloßes einmaliges Ausschütteln des Bodens wesentliche Kolloidmengen in Lösung zu bringen vermögen,[1]) zumal dabei allerlei Elektrolyteinflüsse noch weiter eine Rolle spielen werden.

b) **Förderung der Krümelbildung im Ackerboden durch dieselbe.**

Wenden wir die oben besprochenen Beobachtungen auf den Erdboden an, so finden wir, daß seine Teile, gröbere wie feinere, derart Adsorptionswirkungen auf die in der Bodenlösung vorhandenen Kolloide äußern müssen. Auch die an der Grenze der kolloiden Zerteilung stehenden, äußerst feinen Sande werden möglicherweise adsorbiert werden. So kommt es zu einer Bildung von Hüllen um die Bodenteilchen,[2]) die dann die weitestgehenden Wirkungen, namentlich auf die Gestaltung des Bodengefüges ausüben müssen und übrigens nicht etwa nur theoretisch anzunehmen, sondern auch experimentell bewiesen sind. Wie schwer die Bodenteilchen von diesen Hüllen zu befreien sind, mit anderen Worten, wie fest diese gehalten werden, kann man besonders aus den Beobachtungen von W. R. Williams entnehmen.[3]) Auch an die bereits erwähnten Feststellungen von Th. B. Osborne sei dazu erinnert.

Eine äußerst große Bedeutung muß nun diese Hüllenbildung für die Ermöglichung der Krümelstruktur des Bodens besitzen. Es ist auf das bereits oben bei Besprechung der Bildsamkeit des Tons Gesagte zu verweisen.[4]) Dort lernten wir die Verhältnisse kennen, die sich bei einem verhältnismäßig erheblichen bis sehr starken Gehalt an Kolloidsubstanz ergeben. Hier werden uns die Bedingungen bei Ackerböden, die daran noch wesentlich ärmer sind, beschäftigen.

In der Bodenlösung vorhandene Kolloide werden nach dem oben Gesagten wahrscheinlich zum erheblichen Teil der Adsorption durch die festen Bodenteilchen unterliegen, um so mehr, als sie sich voraussichtlich nur in verhältnismäßig geringen Mengen in der Bodenlösung vorfinden werden, und die Adsorption in verdünnten Lösungen weitaus auffälligere Wirkungen erzielt, als in konzentrierteren. Eine Umhüllung mit einer

[1]) H. Kappen, Landw. Versuchsstat. **83**, 395/6 (1914).
[2]) Ähnlich auch H. Puchner, Intern. Mittlg. Bodenk. **3**, 217 (1913).
[3]) W. R. Williams, Forsch. Geb. Agrikulturphysik **18**, 295 (1895).
[4]) Vgl. 116 ff.

Schicht von Bodenkolloiden wird für die festen Bodenteilchen die Folge sein. Freilich wird diese Schicht einmal an Dicke nicht mit dem entsprechenden Fall bei eigentlichen Tonen zu vergleichen sein, und die recht sehr wechselnde Größe der festen Bodenteilchen bei Ackerboden, im Gegensatz zu den sehr kleinen, feinsten Sanden, welche gewissermaßen das „Skelett" des Tones bilden, wird auch große Bedeutung besitzen.

Weiter muß es nun für die Bedeutung dieser Umhüllungsschicht von Kolloiden, deren Bestehen u. a. auch H. E. Ashley[1]) annimmt und als die wesentlich Kolloidton und Humussubstanz, daneben unter Umständen wohl auch besonders Eisenhydroxyd und andere Bodenkolloide in Betracht kommen, sehr wichtig sein, in welcher Beschaffenheit sich die Kolloide in ihr befinden.

Sind sie gelöst, demnach der Kolloidton im Solzustand, die Humussubstanz entweder als kolloide Humussäure gleichfalls in Solform vorhanden oder als Alkaliverbindung gelöst, so wird eine Anhäufung an den Oberflächen der Bodenteilchen ebenfalls stattfinden. Doch ist anzunehmen, daß der Unterschied dieser Oberflächenhüllen gegenüber den aus reinem Wasser bestehenden kein übermäßig großer sein wird. Ist doch auch die Zähigkeit und Klebrigkeit von Kolloidton im Solzustand, von kolloid in Wasser gelöster Humussäure und von Alkalihumatlösungen nur recht unbedeutend größer, als die von Wasser. So werden derartige Hüllen oder Überzüge auf den Zusammenhang der Bodenteilchen miteinander nur unbedeutend fördernd wirken. Th. Schlösing d. Ä. konnte dies durch den Versuch nachweisen.[2])

Ganz anders, wenn in eben besprochener Weise in Wasser kolloid verteilte bzw. auch wirklich gelöste Ton- oder Humussubstanz durch geeignete Mittel ausgeflockt wird. Wir erhalten dann zumal bei Kolloidton klebrige Massen, wie bereits oben näher besprochen werden konnte. Indes auch ausgefällte Humussubstanzen zeigen nicht selten eine gewisse Klebrigkeit.

Findet nun die Ausflockung statt, während Bodenteilchen in der Flüssigkeit schweben oder von ihr in irgendeiner Weise umgeben sind, so liegt es nahe, daß die ausgefällten Massen diese Bodenteilchen umgeben, sich an ihnen niederschlagen. Die bereits besprochene Adsorptionswirkung der Oberfläche dieser Bodenteilchen wird in dieser Richtung wirken

[1]) H. E. Ashley, Departm. Int. U. S. Geolog. Survey, Bull. **388** (Washington 1909) 7.

[2]) Th. Schlösing d. Ä., E. Frémy, Encyclop. chim. **10**, 67 (Paris 1885).

müssen, und in der Tat konnten Th. Schlösings d. Ä. Versuche[1]) den Beweis dafür liefern, daß ausgeflocktes, zusammengeballtes Tonkolloid, wenn es dazu Gelegenheit hat, die feineren und feinsten Sande des Bodens umhüllt. Wenn der Forscher z. B. von ihm isolierten Kolloidton und sehr feinen Sand in Wasser aufschlämmte und nun durch Kalk die ganze Masse ausfällte, so erhielt er einen Niederschlag, der völlig dem Ton glich, von dem er ausgegangen.[2]) Auch E. W. Hilgard kam auf Grund seiner in ähnlicher Richtung wie bei Th. Schlösing d. Ä. verlaufenden Untersuchungen zu der Ansicht daß in Naturboden — der ja infolge seines Kalkgehalts die Bodenkolloide wesentlich im zusammengeballten Zustande enthält — die Tonteilchen gewöhnlich die pulverförmigen Sande umhüllen.[3])

Wie sehr der Umstand, ob der Kolloidton im Sol- oder Gelzustand diese Umhüllung der festen Bodenteilchen bildet, auf deren gegenseitiges Verhältnis Einfluß ausübt, zeigt deutlich die Verwendung der Soda zur Herstellung des Gießschlickers in der Tonindustrie. Wird zu vielen Tonarten Soda beigegeben, so genügen bereits geringe Wassermengen, die Masse zu verflüssigen, und die einzelnen Teilchen sind weit von irgendwelcher Festlegung in der Masse entfernt, vielmehr leicht aneinander verschieblich und gleitend.[4]) Werden dagegen Mittel zugesetzt, welche den Kolloidton in den Gelzustand überführen, wozu auch die meisten Kalksalze zu rechnen sind, so wird seine ganze Masse zähe, klebend, und die von ihm umhüllten einzelnen Sandkörnchen in Ton oder Erdboden sind nur mit einer gewissen Mühe gegeneinander verschieblich.[5])

So werden die aus Kolloidton gebildeten Adsorptionshüllen der Bodenteilchen, wenn dieser in ausgeflocktem Zustande[6]) in Betracht

[1]) Ebendort, wo erwähnt wird, daß bei Aufschlämmen von Ton, der frei von Zusammenballungsmitteln ist, sich oft ein Schillern zeigt, das von Sandplättchen herrührt, die das Licht zurückwerfen. Sind die Tone aber koaguliert, ausgeflockt, so fehlt diese Erscheinung, weil der Ton die Plättchen einhüllt und ihnen so nicht die notwendige Orientierung in den Wasserströmungen ermöglicht, wohl auch ihre Oberflächen gegen das Licht deckt.

[2]) Th. Schlösing d. Ä., a. a. O.

[3]) E. W. Hilgard, Soils (Neuyork 1906) 61.

[4]) Vgl. z. B. G. Keppeler, Chem.-Ztg. Nr. 68, 609 (1909); Ber. 3, VII. intern. Kongr. angew. Chemie, London.

[5]) Vgl. z. B. auch J. W. Mellor, S. A. Green und T. Baugh, Trans. English Ceram. Soc. 6, 161 (1908).

[6]) W. Spring, Bull. Classe Scienc. Acad. Roy. Belg. (1900) 499, wollte ja die Flockung teilweise direkt auf die Erscheinung des Klebens zurückführen.

kommt, und ebenso, aber in geringerem Maße, allerdings auch je nach den Umständen noch stärker,[1]) die noch mehr oder weniger kolloiden Zustand aufweisenden Kalkverbindungen der Humussäuren[2]) klebend wirken und das Aneinanderhaften der einzelnen festen Bodenteilchen begünstigen.[3]) Freilich muß dies in minderem Maße stattfinden, als in den eigentlichen Tonen, deren Gehalt an Kolloidton eben ein erheblich größerer ist. Daher kommt es nicht zum Auftreten von Erscheinungen, die der Bildsamkeit der Tone zu vergleichen sind. Wohl aber zum Aneinanderhaften der einzelnen Bodenteilchen in viel stärkerem Maße, als wenn sie nur durch Wasser zusammengehalten würden, und weiterhin zu längerer Andauer dieses Haftens. Denn auch teilweises Austrocknen, ja sogar völliger Verlust des Wassers aus der die Körnchen umgebenden Hülle von Kolloidton führt nicht zum Auseinanderfallen der so verbundenen Sand- und anderen Teilchen, dieselben halten vielmehr um so fester zusammen. Ist Humussubstanz das Bindemittel,[4]) so kommt es wohl bei weitergehendem Austrocknen zu Veränderungen derselben, die gleichfalls eher zu einer Verfestigung der Bindung führen dürften.[5]) Endlich kann wahrscheinlich auch kolloides Eisenhydroxyd, wenn auch gegenüber den beiden soeben erwähnten Bindemitteln in den meisten unserer heimischen Böden weit zurücktretend, in ähnlicher Weise wie dieselben dazu dienen, Bodenkörnchen miteinander zu verkleben.[6]) Sowohl Th. Schlösing d. Ä.[7]) wie auch J. M. van

---

[1]) Th. Schlösing d. Ä., Ann. Chim. Phys. (5) **2**, 535 (1874) bezeichnet die Humate als stärker klebend. Auch A. D. Hall weist auf das Zusammenkleben feiner Bodenteilchen zu Krümeln durch die Wirkung der Humate hin, Journ. Chem. Soc. Transact. **85**, Teil 2 (1904).

[2]) Daß auch die Kalkverbindungen der Humussubstanzen — und zwar diese in erheblichem Maße — klebende Kraft besitzen, erwähnt R. Warington, Lect. some phys. propert. soil (Oxford 1900) 27.

[3]) Von Chevreul wurde festgestellt, daß der Sand „de l'alios" durch eine organische, braune Masse zusammengeballt ist; vgl. Th. Schlösing d. Ä., Compt. rend. **74**, 1408 (1872).

[4]) Versuche über die Fähigkeit der Humussubstanz, zumal ihrer Kalkverbindungen, die Bodenteilchen zusammenzukleben, hat Th. Schlösing d. Ä. ausgeführt. Ann. Chim. Phys. (5) **2**, 533 (1874). Vgl. auch H. Puchner, Internat. Mitteilg. Bodenk. **3**, 229 (1913).

[5]) E. W. Hilgard, Soils (Neuyork 1906) 111.

[6]) H. Kappen, Landw. Versuchsstat. **88**, 43 (1916). Voraussichtlich entsprechend E. C. J. Mohr, Bull. Départ. Agric. Indes Néerland **47** (Géol. agron. **9**) 17 (1911).

[7]) Th. Schlösing d. Ä., Compt. rend. **135**, 601 (1902).

Bemmelen[1]) haben diesbezügliche Beobachtungen veröffentlicht, ebenso R. Warington,[2]) und schon F. Senft[3]) bringt solche Anschauungen.

Dafür, daß tatsächlich der Zustand der Ausflockung für die Bodenkolloide erst die Fähigkeit des „Klebens" und somit die Ermöglichung der Krümelbildung bedingt, sind wieder Th. Schlösings d. Ä. Untersuchungen beweisend. Er vermochte auch auf dem umgekehrten Wege zu untersuchen, wie lange gekrümelter Erdboden lösenden Einflüssen Widerstand zu leisten imstande war. Kam nun eine Lösung mit dem Erdboden in Berührung, welche, wie destilliertes Wasser oder noch mehr eine schwache Alkalilösung, auf Beseitigung der Ausflockung der Bodenkolloide[4]) hinwirkte, so zerfielen die Bodenkrümel in Kürze,[5]) während sie in Kalkwasser erheblich mehr Widerstand zeigten.[6])

Diese Neigung der festen Bodenbestandteile, sich mit Bodenkolloiden zu umhüllen, verursacht aber gleichzeitig die außerordentlichen Schwierigkeiten bei der gewichtsmäßigen Bestimmung dieser Kolloide. Trotz großer Sorgfalt gelingt es in der Regel nicht, ohne häufige Wiederholung von Wasch- und Schlämmarbeiten die einzelnen Sandteilchen im Boden vom Ton zu trennen. Und wenn man hierzu das Kochen als Hilfsmittel heranzieht, so tauscht man dafür andere Nachteile ein. — Endlich liegen noch bedeutungsvolle Untersuchungen über die Hüllen der festen Bodenteilchen, also kurz gesagt, des Sandes, von J. Dumont[7]) vor. Dieser Forscher ermittelte die Tatsache, welche wir auf Grund der von der Oberflächengröße abhängigen Stärke der Adsorption leicht verstehen, daß nämlich gleiche Mengen Sand um so mehr Überzugssubstanz enthielten, je feiner der Sand war. Die Überzüge bestanden meist aus feinsten Sandteilchen, Schlamm und Kolloidstoffen, sowohl Ton wie Humus. Wurde einmal der Boden selbst, dann aber die in ihm die Sandkörnchen einhüllende Überzugssubstanz auf ihre physikalische Zusammensetzung untersucht, so ergab sich z. B. bei kalkarmen, ziemlich humusreichen, leichteren argentinischen Böden:

[1]) J. M. van Bemmelen, Arch. Néerl. Scienc. ex. natur. (2) **10**, 236 (1905).

[2]) R. Warington, Lect. some phys. propert. soil (Oxford 1900) 28.

[3]) F. Senft, Steinschutt u. Erdboden (Berlin 1867) 224.

[4]) Hierunter ist auch die Bildung von Alkalihumaten statt der Kalkhumate verstanden.

[5]) M. Whitney, U. S. Depart. Agricult., Weath. Bur. Bull. **4**, 47 (1892).

[6]) Vgl. von Th. Schlösings zumeist schon angeführten zahlreichen Arbeiten z. B.: E. Frémy, Encyclop. Chim. **10**, 64 (Paris 1885); Compt. rend. **74**, 1408 (1872).

[7]) J. Dumont, Compt. rend. **149**, 1087 (1909).

Zusammensetzung in Prozenten:	Sand	Schlamm	Ton	Humus
des Erdbodens	81,25	10,30	3,20	1,65
der Überzugsmasse	37,80	30,50	15,20	16,50

Bei schweren Böden würde nach J. Dumonts Ansicht voraussichtlich ein Überwiegen des Tons in den Hüllen festzustellen sein.

Wie man sieht, eine weitgehende Bestätigung des oben Gesagten! Endlich weist noch A. Atterberg darauf hin, daß auch Umhüllungen durch kristallisierte Kieselsäure vorkommen.[1])

c) Färben von Bodenkolloiden.

Weiter wären hier wohl noch die auf eine Färbung der Bodenarten hinauslaufenden Verfahren zu erwähnen, die zumeist der Bestimmung der im Boden vorhandenen Kolloide dienen sollen. Zuerst wohl von W. R. Williams[2]) schon vor fast 20 Jahren beobachtet, dann zunächst von Gowalewski[3]) für Ziegeltone, weiter von B. Sjollema[4]) für Ackerböden vorgeschlagen,[5]) schließlich von vielen Seiten[6]) durchgeprüft, hat sich doch bislang wohl das Färben der Erdböden noch keinen unbestrittenen Platz in der Bodenkunde zu erwerben vermocht. In neuerer Zeit ist zwar von H. E. Ashley an der Hand von Versuchen behauptet worden, daß die Adsorption einer Farbe durch Ton als annäherndes Maß seiner Bildsamkeit ausreiche; er fand auch, daß der Erfolg einer Mahlung auf Ton hinsichtlich der Steigerung seiner Bildsam-

[1]) A. Atterberg, K. Landtbr. Akad. Handl. Tidskr. (Stockholm 1897) 385.

[2]) W. R. Williams, Forsch. Geb. Agrikulturphysik **18**, 270—271 (1895).

[3]) Zit. bei H. Siats, Anleitg. Unters. landw. Stoffe, 4. Aufl. (Hildesheim 1903).

[4]) B. Sjollema, Journ. Landw. **53**, 67 (1905).

[5]) Vgl. auch P. Ehrenberg, Koll.-Zeitschr. **5**, 100 (1909).

[6]) Vgl. dazu weiter A. Emmerling und F. Sieden, Verh. Ges. deutsch. Naturf. Ärzte 1904, 76 zu Breslau, **2**, (1) (1905) 155; P. Rohland, Zeitschr. anorg. Chem. **56**, 46 (1907); F. Cornu, Koll.-Zeitschr. **4**, 304 (1909); K. Endell, ebendort **5**, 244 (1909); Sprechsaal **43**, 291 (1910); H. E. Ashley, Departm. Int. U. S. Geolog. Survey, Bull. **388** (Washington 1909); J. König, J. Hasenbäumer und C. Haßler, Landw. Versuchsstat. **75**, 381 (1911); M. Gorsky, Zeitschr. landw. Versuchsw. Österr. **15**, 1201 (1912). Auch F. Hundeshagen, Zeitschr. angew. Chem. **21**, 2405 (1908); E. Dittler, Koll.-Zeitschr. **5**, 93 (1909); W. Suida, Ber. Wiener Akad. Wiss. mathem.-naturw. Kl. **113**, IIb 725, (1904); ders., Monatsh. Chemie, **25**, 1107 (1904). L. Pelet und L. Grand, Chem.-Ztg. **31**, 803 (1907), Kolloid-Zeitschr. **2**, 41 (1907), wo noch andere Literatur; **T. Saki**, Landw. Versuchsstat. **79/80**, 871 (1913); C. Marquis, Intern. Mittlg. Bodenk. **5**, 455 (1915), sind zu erwähnen.

keit durch erhöhte Farbstoffadsorption wiedergegeben wurde.[1]) Während dies aber für eine gewisse Parallelität zwischen Kolloidgehalt einer Bodenart und seiner Farbstoffaufnahme sprechen dürfte, sind auch nicht wenig Bedenken aufgetaucht. Die Tatsache, daß viele Farbstoffe an der Grenzfläche flüssig-gasförmig, also an etwa in der untersuchten Bodenmasse noch vorhandenen Gasblasen, Häutchen zu bilden vermögen, mag als immerhin wohl nebensächlich nur erwähnt werden.[2]) Daß die mannigfaltigen Kolloide des Bodens weitgehend verschiedene Farbstoffaufnahme zeigen dürften und je nach dem verwendeten Farbstoff sich recht verschieden verhalten können, ist für kolloide Kieselsäure bereits von A. Famintzin[3]) nachgewiesen worden, und auch B. Sjollema[4]) hat darüber weitergehende Beobachtungen gemacht, die von M. Gorski[5]) für einen einzelnen Farbstoff eingehend bestätigt wurden. Besonders Ausführungen von T. Oryng sind dann in dieser Richtung zu beachten.[6]) Er wies u. a. darauf hin, daß auch Kaolin Farbstoffe aufnimmt. M. Rosenow[7]) beobachtete bei gleichen Untersuchungen, daß sogar bei 1475° gebrannter Kaolin, in dem also jede Spur von Kolloiden zerstört sein muß, noch mäßige Farbstoffaufnahme zeigt. Hieraus dürfte bereits die Schwierigkeit erhellen, auf diesem Wege „die" Bodenkolloide ihrer Menge nach zu bestimmen. Dazu kommt nun aber ferner, daß nach R. van der Leeden und F. Schneider[8]) sich noch weitere Bedenken zeigen, indem auch unverwitterte Silikate Farbstoffe aufnehmen. Überhaupt färben sich auch Kristalle mit Farbstoffen an, wenn auch meist weniger als Kolloide.[9]) Daß aber im Boden alle möglichen kristalloiden Substanzen vorhanden sind, bedarf keines Beweises. Sogar in Tonen konnte J. Teall unter anderem Rutil- und Turmalinkristalle wahrnehmen.[10]) Feinsten und feinen Sand, vorwiegend Quarz, kennen wir schon als ständigen Bestandteil des in der Natur gefundenen Tones. Daß aber

[1]) H. E. Ashley a. a. O. 59.
[2]) H. Freundlich, Kapillarchemie (Leipzig 1909) 77 u. 442.
[3]) A. Famintzin, Ber. Deutsch. botan. Ges. **2**, 32 (1884).
[4]) B. Sjollema a. a. O.
[5]) M. Gorski a. a. O. 1206.
[6]) T. Oryng, Koll.-Zeitschr. **14**, 108 (1914).
[7]) M. Rosenow, Dissertation Hannover (1911) 33.
[8]) R. van der Leeden und F. Schneider, Intern. Mitteil. Bodenkunde **2**, 81 (1912).
[9]) E. Dittler, Koll.-Zeitschr. **5** 99 (1909). Ebenso W. Graf zu Leiningen, Koll.-Zeitschr. **19**, 169 (1916).
[10]) J. Teall, Mineralog. Mag. **7**, 201 (1887).

Quarzpulver nicht unerhebliche Farbstoffmengen aufnahm, fanden sowohl H. E. Patten und W. H. Waggamann,[1]) wie L. Pelet und L. Grand.[2]) Weiter stellten F. K. Cameron und H. E. Patten,[3]) die bereits unter den ersten mit über diese Frage arbeiteten, zunächst fest, daß entsprechend dem oben Erwähnten zwei Bodenarten sich in ihrem Aufnahmeverhalten gegen Farbstoffe gerade umgekehrt betätigten, wie gegen Düngerlösungen. Dann aber zeigte sich weiter, daß die Verteilung der Farbstoffe zwischen Lösung und Erdboden nicht immer der allgemeinen Adsorptionsformel folgt, sondern gelegentlich starke Abweichungen zeigt, weil, wie die beiden Forscher annehmen, durch die Wirkung der Farbstoffe selbst eine Ausflockung der Bodenteilchen und damit unregelmäßige Änderungen der adsorbierenden Oberfläche eintreten. Dies ist ja nach meinen oben wiedergegebenen Anschauungen auch ganz wahrscheinlich. Möglicherweise spielen auch noch Folgen des Adsorptionsrückganges mit hinein.[4]) Beobachtungen über diese Fragen finden sich bei H. E. Patten und W. H. Waggamann,[5]) sowie L. Pelet-Jolivet. Der letztgenannte Forscher konnte sogar feststellen,[6]) daß die Adsorption von Farbstoffen durch Gele ganz wesentlich durch Anwesenheit von Elektrolyten geändert werden kann, welche von dem Gel aufgenommen worden sind, eine Beobachtung, die von R. van der Leeden und F. Schneider,[7]) wie auch von K. K. Gedroiz[8]) bestätigt werden konnte. Soweit lebende Pflanzen oder Pflanzenteile, sowie Kleinlebewesen sich im Boden finden, vermögen übrigens diese unter Umständen auch einen Teil des Farbstoffs in sich aufzuspeichern.[9]) Wir sehen demnach noch erhebliche Schwierigkeiten für die Verwendung der Farbstoffe in der Bodenkunde

[1]) H. E. Patten und W. H. Waggamann, U. S. Departm. Agricult., Bur. Soils, Bull. **52**, 43—46 (1908).

[2]) L. Pelet und L. Grand, Koll.-Zeitschr. **2**, 44 (1907/8).

[3]) F. K. Cameron und H. E. Patten, Journ. Phys. Chemist. **11**, 581 (1907).

[4]) H. Freundlich und E. Hase, Zeitschr. physik. Chem. **89**, 417 (1915).

[5]) H. E. Patten und W. H. Waggamann, U. S. Departm. Agricult., Bur. Soils, Bull. **52**, 48—49 (1908).

[6]) L. Pelet-Jolivet, Koll.-Zeitschr. **3**, 242 (1908), bzw. Arch. scienc. physic. et natur., Maiheft (Genf 1908).

[7]) R. van der Leeden und F. Schneider, Intern. Mitteil. Bodenk. **2**, 84 (1912).

[8]) K. K. Gedroiz, Journ. exp. Ldw. **15**, 214/5 (1914).

[9]) W. Pfeffer, Botan. Ztg. Nr. 6 (1886). Methylenblau wurde hier aus stark verdünnten Lösungen schnell in großer Menge gespeichert, doch zeigten zwar viele, aber nicht alle Pflanzen solche Anhäufungen.

auftauchen. Auch die lange Dauer der Einstellung eines Gleichgewichts scheint nach W. Graf zu Leiningen hinderlich zu sein,[1]) wenn nicht hier noch andere Umstände vorliegen.

d) Adsorption von Bakterien und Toxinen.

Unter die Adsorption von Kolloiden und festen Stoffen durch den Erdboden ist auch die Festlegung von Bakterien an den Oberflächen der Bodenteilchen einzureihen. Versuche dieser Art liegen von K. Schröder vor,[2]) der durch Torfmull Bakterien derart aus Wasser in nicht unerheblichen Mengen zu entfernen vermochte. Ähnliche Ergebnisse erzielte P. F. Frankland,[3]) ebenso B. Krüger.[4]) Auf zum Teil entsprechenden Tatsachen wird die Fähigkeit von Sand- und Erdbodenschichten beruhen, Bakterien aus Wasser auszusondern. Man macht hiervon weitgehend bei der Trinkwasserreinigung und ebenso bei der Unschädlichkeitmachung von Abwässern Gebrauch.[5]) Eine neue, diese Anschauungen völlig vernachlässigende Theorie der Sandfilterwirkung, die als alleinig wirksames Mittel dabei Bakterien verzehrende Protozoen annehmen will, gibt K. Kisskalt.[6]) Leider wird auch dort, wo eine solche Rücksichtnahme unbedingt geboten erscheint, von ihm in keiner Weise auf Adsorptionserscheinungen, Ionenwirkungen dabei, und ähnliches Bezug genommen, so daß seine Absicht, diese von ihm vorgetragenen Anschauungen auch auf die Bodenfiltration zu übertragen, nachdrücklich als zu einem Rückschritt führend gekennzeichnet werden müßte. — Auch die Erscheinung, daß im unbearbeiteten Erdboden die Anzahl der Bakterien von der Oberfläche aus gerechnet, zumal in tieferen Schichten, stark abnimmt, wird z. B. von C. Fränkel u. a. darauf zurückgeführt, daß die Porenräume des Bodens je tiefer, um so stärker versetzt werden, so daß der Boden derart bakteriendicht wird.[7]) Vom Standpunkt des landwirt-

[1]) W. Graf zu Leiningen, Koll.-Zeitschr. **19**, 167/8 (1916).

[2]) K. Schröder, Inauguraldissertation (Marburg 1891).

[3]) P. F. Frankland, Proc. Roy. Soc. **38**, 379 (1867).

[4]) B. Krüger, Zeitschr. Hyg. Inf. Krankh. **7**, 86 (1889).

[5]) Vgl. z. B. F. Abba, E. Orlandi und A. Rondelli, Zeitschr. Hyg. Inf.-Krankh. **31**, 66 (1899) J. Soyka, Prager med. Wochenschr. Nr. 28 u. 31 (1885); A. Pfeiffer, Zeitschr. Hyg. Inf.-Krankh. **1**, 394 (1886); B. Krüger, ebendort **7**, 86 (1889); G. Kabrhel, Arch. f. Hyg. **22**, 323 (1895). Auch H. Bitter und E. Gotschlich, Zeitschr. Hyg. Inf.-Krankh. **59**, 379 (1908); M. Ficker, Hyg. Rundsch. **14**, 9 (1904) und an vielen anderen Orten.

[6]) K. Kisskalt, Zeitschr. Hyg. u. Infekt.-Krankh. **80**, 57 (1915).

[7]) C. Fränkel, Zeitschr. f. Hyg. u. Inf.-Krankh. **2**, 573 (1887). Ähnliche Ansichten bei A. J. van Schermbeck, Zeitschr. Forst- u. Jagdwes. **36**, 591 (1904).

schaftlichen Bakteriologen dürfte die Wirkung der Adsorption im Boden auf die Bakterien vielleicht die Erklärung dafür geben können, daß z. B. Knöllchenbakterien der Leguminosen bei Impfungen des Bodens sich nur verhältnismäßig wenig über die geimpfte Fläche hinaus verbreiten. Wieweit etwa der nicht selten bei bodenbakteriellen Versuchen beobachtete Nutzen eines Humus- oder Erdbodenzusatzes[1]) auf der adsorptiven Bindung kolloid in Wasser gelöster Stoffwechselprodukte der Bakterien zu beruhen vermag, kann hier natürlich nicht entschieden werden. Es genüge ein Hinweis auf die Möglichkeit solcher Beziehungen sowie darauf, daß O. Lemmermann jüngst ähnliche Vorgänge in weiterem Umfange zur Erklärung der günstigen Einflüsse eines Tonzusatzes zu Pflanzenkulturen heranzog.[2]) Zumal für die Adsorption irgendwelcher Toxine wird derartiges durch verschiedene Beobachtungen wahrscheinlich gemacht. So vermochte A. Dachnowski die sonst für Pferdebohnen vorhandene Schädlichkeit von Moorbodenauszügen durch Ruß zu beseitigen.[3]) Weiter fanden O. Schreiner und H. S. Reed[4]) günstige Wirkungen, wenn in für Pflanzen giftige Lösungen stark adsorbierende Substanzen, wie ebenfalls Ruß oder Eisenhydroxydkolloid, eingebracht wurden. So werden wahrscheinlich allgemein schädliche, zumal organische und besonders kolloide Stoffe unter Umständen durch Adsorption aus Bodenlösungen mehr oder weniger entfernt werden können. Es kann das nicht wundernehmen, da bekanntlich die Adsorption schon für organische Verbindungen wesentlich stärker ist, als etwa für anorganische Salze, ganz besonders aber bei hochmolekularen und kolloiden Stoffen ihr Höchstmaß erreicht.[5])

Damit dürften die für die Bodenkunde wichtigen Erscheinungen der Adsorption von Kolloiden und festen Stoffen im wesentlichen besprochen sein. Die vielleicht hier noch hergehörigen Fälle der Schutz-

[1]) Z. B. S. Krzemieniewski, Bull. Acad. Scienc. (Krakau 1908) 929; Th. Remy, Zentralbl. Bakteriol., Teil 2, **30**, 349 (1911).

[2]) O. Lemmermann, A. Einecke und H. Wiessmann, Mittlg. Deutsch. Landw.-Ges. **31**, 660 (1916).

[3]) A. Dachnowski, Botan. Gazette **46**, 130 (1908).

[4]) O. Schreiner u. H. S. Reed, U. S. Departm. Agricult., Bur. Soils, Bull **40**, 16, Tafel II u. III (1907). Ebenso O. Schreiner, H. S. Reed und J. J. Skinner ebendort, Bull. **47**, 40 (1907). — Wie weit solche Pflanzengifte für das normale Pflanzenwachstum Bedeutung besitzen, kann hier nicht besprochen werden.

[5]) Vgl. oben 299 und 300, dann auch H. Freundlich, Kapillarchemie (Dresden 1909) 139.

wirkungen und Ausflockungen von Kolloiden durch andere Kolloide sind zum Teil bereits gelegentlich erwähnt worden und werden besonders später noch Behandlung finden.

C. Salzwirkungen.

Mannigfaltigen Einfluß üben auf die Bodenkolloide Salzlösungen aus, die teilweise ohne Zutun des Menschen, teilweise aber erst auf dessen Veranlassung mit ihnen in Berührung kommen. Hier wird nur der erste Fall zu besprechen sein. Die Wirkung der Düngesalze findet bei Behandlung des Einflusses der Kulturkräfte auf die Bodenkolloide ihren Platz.

1. Meerwasserüberschwemmungen.

Im weitesten Umfange kommen Salzlösungen mit dem Boden und seinen Kolloiden in Berührung, wenn das Meer bei Überschwemmungen die Ufer überschreitet. Es wird sich darum handeln, hierbei gemachte Beobachtungen zu deuten.

Daß Überschwemmungen durch Meerwasser nicht lediglich[1]) durch die Anreicherung mit Kochsalz,[2]) die sie für den Boden mit sich bringen, ungünstig wirken, hat man bereits frühzeitig festgestellt. Der Boden schlämmt nämlich auch zusammen, wie man sagt,[3]) er verliert seine lockere Krümelstruktur, so daß z. B. die Stoppeln eines überschwemmten Feldes scheinbar hoch über die Erde emporgehoben erschienen, während in Wirklichkeit diese zusammengesunken war.[4]) Daß es sich tatsächlich um eine Rückkehr zur Einzelkornstruktur handelt,[5]) wird noch deutlicher durch die Beobachtung gekennzeichnet, daß die zusammengeschlämmten[6]) Kleiböden der Marschen beim Abtrocknen eine eisenharte Kruste[7]) bilden

[1]) Falls die Überschwemmung lange dauert, machen sich wohl auch die Folgen der Verdrängung der Bodenluft geltend. Vgl. z. B. über das Ausgehen der Bäume auf der überschwemmten Fläche auch A. J. Swaving, Landw. Versuchsstat. **51**, 466 (1899).

[2]) Auch diese wird meist mehr für die Keimung ausgesäter Sämereien als für erwachsene Pflanzen verderblich wirken. Vgl. auch A. J. Swaving, Landw. Versuchsstationen **51**, 471 (1899); ferner A. Stood, ebendort **36**, 118 (1889).

[3]) Vgl. die „Erfahrungen manches Küstenlandwirtes", die G. Reinders mitteilt; Landw. Versuchsstat. **19**, 191 (1876).

[4]) Vgl. G. Reinders a. a. O. 206.

[5]) A. Mayer, Journ. Landw. **27**, 402 (1879).

[6]) A. J. Swaving, Landw. Versuchsstat. **51**, 465, 468 (1899). Auch Landbouwk. Tijdskr. (1895) 342.

[7]) A. J. Swaving, Landw. Versuchsstat. **51**, 465 (1899).

und dann auch starke Spaltenbildung zeigen,[1]) was übrigens wieder zu schnellerem Austrocknen führt und auch das Auswaschen des Meersalzes durch Regen langsamer von statten gehen läßt, da das Wasser zumeist durch die Spalten abläuft. Endlich gibt die unter anderem von J. M. van Bemmelen gemachte Beobachtung, daß das dem Meere soeben abgewonnene Land eine erheblich lockerere Lagerung besitzt,[2]) als das durch Meeresüberschwemmung geschädigte, uns Gelegenheit, die auch sonst hervorgehobene[3]) Bedeutung einer Vegetationsnarbe als Gegenmittel gegen den hier besprochenen Fall von Verschlämmen kennen zu lernen. Damit wären die zunächst besonders hervortretenden Erscheinungen bei Überschwemmungen mit Meerwasser angeführt.[4])

Da wir die außerordentliche Bedeutung der Kolloiderscheinungen im Boden für dessen physikalische Beschaffenheit wohl schon ausreichend kennen lernen konnten, so wird es nicht überraschen, daß meiner Meinung nach auch hier die Beeinflussung der Bodenkolloide durch die Salze des Meerwassers in erheblichem Umfange als die Ursache der ungünstigen Erscheinungen anzusehen ist.

Zunächst wirkt die starke Wasserbewegung des in die Stelle des Dammbruches eindringenden Meeres zerstörend auf die Bodenkrümel, wie dies jedes Aufrühren des Bodens im Wasser tut. Immerhin kann gerade das Salzwasser zunächst die Verklebung der Bodenteilchen durchaus nicht so weitgehend lösen und den Boden in die Einzelkornstruktur überführen, wie dies etwa durch Süßwasser und zumal durch das besonders elektrolytarme Wasser gewaltiger Regengüsse der Fall sein müßte. Ist doch bekannt, daß auch Kochsalz so wie andere Elektrolyten in mäßiger, im Seewasser längst erreichter Konzentration Erdaufschwemmungen und Tontrübungen zum Ausflocken bringt.[5]) So wird auch das Salz des eindringenden Meerwassers die Klebkraft des zusammengeballten Tons zu-

---

[1]) Ebenso bei G. Reinders a. a. O. Ferner A. Mayer, Journ. Landw. **27**, 402 (1879).

[2]) Nach dem Bericht J. M. van Bemmelens an die Kommission für die Untersuchung des militärischen Inundationssystems in der Provinz Groningen, zit. von G. Reinders a. a. O. 213.

[3]) Vgl. G. Reinders a. a. O. 213.

[4]) Die Auswaschung von Pflanzennährstoffen, wesentlich infolge von Basenaustausch, interessiert uns hier natürlich nicht. Für uns wohl kaum verwendbare Analysen von jahrelang durch Seewasser überschwemmten Boden vgl. bei C. Sprengel, Bodenkunde, 2. Aufl. (Leipzig 1844) 577/578.

[5]) Vgl. z. B. Adolf Mayer, Forsch. Geb. Agrikulturphysik **2**, 253 (1879). Natürlich ist die Wirkung geringer Kochsalzmengen trotzdem nicht mit der von Salzen zu vergleichen, die zwei- und mehrwertige Ionen bilden.

nächst nicht gar zu erheblich vermindern, ja unter Umständen sogar in der Solform vorhandenes Tonkolloid zunächst zusammenballen und so klebend machen können. Anders freilich dürfte es schon mit dem, wie erwähnt, auch ein wesentliches Festigungsmittel der Bodenkrümel bildenden Humus stehen. Der die Bodenteilchen verklebende Humus wird zumeist als Kalkhumat wirksam sein, wie früher bereits betont wurde. Wenn nun die ziemlich stark konzentrierte Salzlösung des Meerwassers [1]) in den Boden dringt, so ist nach dem Massenwirkungsgesetz zum Teil eine Umsetzung von humussaurem Kalk und Kochsalz in Chlorkalzium und humussaures Natron zu erwarten,[2]) als deren Folge eine Lockerung oder auch Lösung der Humusverklebung der Bodenteilchen in gewissem Umfange eintreten dürfte. Aber auch der kohlensaure Kalk, der, wie wir später noch sehen werden, gleichfalls als Festigungsmittel der Bodenkrümel auftreten kann, wird durch in den Boden eindringendes, stärker konzentriertes Salzwasser etwas stärker gelöst werden als durch die sonst in Frage kommende Bodenlösung.[3]) Einmal nämlich bewirkt nach W. A. Noyes[4]) der Zusatz eines Salzes zu der gesättigten Lösung eines anderen eine Erhöhung der Löslichkeit, wenn beide kein Ion gemeinsam haben, was hier für Kochsalz und Kalziumkarbonat zutrifft.[5]) Es tritt aber hinzu, daß von den sich dabei bildenden Produkten das Chlorkalzium etwas schwächer dissoziiert ist, als das

[1]) Meerwasser dürfte im Durchschnitt ungefähr 3% Salze enthalten, und davon ungefähr 2,7% Kochsalz.

[2]) Mit solchen Umsetzungen rechnet auch K. K. Gedroiz, Mitteil. Bur. Ackerbau Bodenk. Gelehrtenkomitee russ. Hauptverw. Landorganis. u. Ackerbau **8**, 55 (1913).

[3]) Hierauf wies auch D. J. Hissink schon hin, Chem. Weekblad **3**, 395 (1906).

[4]) W. A. Noyes, Zeitschr. physik. Chem. **6**, 262 (1890).

[5]) Der Verlauf des Vorgangs ist der folgende: Der Zusatz eines Salzes mit anderen Ionen zu einer konzentrierten Salzlösung — wie wir solche bezüglich des Kalziumkarbonats bei dessen sehr geringer Löslichkeit und weitgehendem Vorkommen im Boden häufig anzunehmen haben werden — hier also von Kochsalz zur Lösung von $CaCO_3$, bedingt, daß sich einmal die Ionen $Na^{\cdot}$, Cl', $Ca^{\cdot\cdot}$, CO_3'', weiter aber durch Wirkung der Hydrolyse auch noch OH' und HCO'_3 im Wasser vorfinden. Dann aber werden sich noch, bei den Alkalisalzen in sehr geringem, bei den alkalischen Erdsalzen in nur wenig größerem Umfange auch die nicht dissoziierten Verbindungen NaCl, $CaCl_2$, $CaCO_3$, Na_2CO_3 und auch $NaHCO_3$, $CaH_2(CO_3)_2$, NaOH und $Ca(OH)_2$, bilden. Um die in dem gelösten, nicht dissoziierten $CaCl_2$ und Na_2CO_3 bzw. $NaHCO_3$ befindlichen Kalk- und Kohlensäuremengen, die aus dem kohlensauren Kalk stammen, vermehrt sich dessen Löslichkeit. V. Rothmund, Löslichk. u. Löslichkeitsbeeinfluss. (Leipzig 1907) 171—173; F. Förster, Elektrochemie wäßr. Lösg. (Leipzig 1905) 83; Wi. Ostwald, Grundlin. anorgan. Chemie, 2. Aufl. (Leipzig 1904) 585—586.

Chlornatrium,[1]) so daß dadurch eine ein wenig größere Menge nicht dissoziiertes Chlorkalzium sich bilden muß, was die Löslichkeitserhöhung des kohlensauren Kalks noch etwas vermehrt. Diese theoretisch zu fordernde Löslichkeitserhöhung des kohlensauren Kalks in Wasser durch hinzutretendes Kochsalz ist nun auch, allerdings nur beiläufig und ohne genauere Messungen, schon von F. Storp festgestellt worden, so daß damit ihre praktische Bestätigung vorliegt.[2]).

Somit mußte bereits das Kochsalz selbst auf die Lösung der durch Humus oder durch kohlensauren Kalk verbundenen Bodenkrümel hinwirken. Weiterhin aber entsteht bei Umsetzung von Kochsalz und kohlensaurem Kalk unter anderem in geringer Menge Hydroxylion, oder kurz gesagt, es kommt zu allerdings zunächst sehr schwach alkalischer Reaktion im Boden.[3]) Hier sehen wir ein weiteres Moment, das auf die Lösung der Bodenkrümel, und zwar nun auch auf Zerstörung der durch Ton verklebten, hinwirken wird. Denn das Hydroxylion unterliegt in erheblichem Umfange der Adsorption im Boden, wie oben dargelegt werden konnte, und nach Th. Schlösings d. Ä. bereits mehrfach angeführten Untersuchungen verliert durch Alkali in geringeren Mengen der Ton seine klebenden Eigenschaften mehr und mehr, je weiter er dadurch in den Solzustand übergeht. Auch auf die Bodentrübung und Bodenaufschwemmung als Ganzes, soweit sie auch feinere und feinste Sande enthält, muß die so entstehende, sehr schwach alkalische Reaktion in dem Sinne einwirken, daß statt einer Flockung und Krümelbildung dieser Bestandteile sie sich beim Niedersinken in engster Lagerung, in Einzelkornstruktur, aneinander lagern. Der Boden schlämmt dicht. Die Gegenwart von Alkali, die theoretisch ohnehin zu erwarten ist, kann wiederum auch durch die Erfahrung bewiesen werden. So führt A. Mayer aus den ungarischen Pußten Bildung von Soda durch Wechselwirkung von Kochsalz mit dem kohlensauren Kalk des Bodens an,[4]) G. Reinders stellte direkt am Strande die Bildung von Natriumkarbonat durch Umsetzung von Kochsalz und kohlensaurem Kalk fest.[5]) Allerdings wirken noch

[1]) F. Förster, Elektrochemie wäßr. Lösg. (Leipzig 1905) 83, aber auch 56.

[2]) F. Storp, Landw Jahrb. **12**, 805 (1883).

[3]) Vgl. dazu die vorige Seite, Anm. 5. Ganz gering muß bereits durch Hydrolyse gelösten Kalziumkarbonats alkalische Reaktion im Boden bestehen.

[4]) A. Mayer, Journ. Landw. **27**, 402 (1879).

[5]) G. Reinders, Landw. Versuchsstat. **19**, 197 (1876). Später wird die Bedeutung dieser Umsetzungen und ihrer Folgen bei Gelegenheit der Besprechung der Sodaböden noch weiter zu würdigen sein, wobei besonders auf die Bedeutung der Einwirkung freier Kohlensäure auf den Vorgang hinzuweisen ist.

andere als die oben genannten Umstände, besonders das Auftreten von Kohlensäure, auf Verstärkung der alkalischen Reaktion im Boden, beziehungsweise der Sodabildung hin.

So wird demnach bereits durch die Überschwemmung des Landes mit Seewasser eine nicht unerhebliche Schädigung des Bodengefüges[1]) infolge der Beeinflussung der Bodenkolloide eintreten. Dazu kommt dann weiter, daß bei stärkeren und etwas länger dauernden Überschwemmungen der Pflanzenbestand geschädigt wird, zumal soweit es sich um die empfindlicheren Ackerpflanzen[2]) handelt, und daß nun die Regenfälle unmittelbar auf das von Pflanzen nicht mehr geschützte Land herabprasseln, so auch ihrerseits noch das Bodengefüge schädigend.[3]) Daß hierbei, wie schon früher erwähnt, die mechanische Erschütterung auf eine dichtere Lagerung hinwirkt, hat bereits A. Mayer feststellen können.[4])

Ganz besonders wird aber, wie man sich von dem soeben erwähnten Gesichtspunkt aus denken kann, eine stärkere Bearbeitung des noch feuchten, schon mehr oder weniger zusammengeschlämmten Bodens mit den üblichen Ackergeräten eine ungünstige Lagerung der Bodenteilchen fördern. Von solcher wird denn auch ganz allgemein abgeraten, ja gewarnt, und schon G. Reinders ist hier zu nennen.[5]) Sogar vieles Umherfahren mit Wagen auf dem Lande u. dgl. bringt bereits Schaden.[6]) Auch A. Mayer[7]) spricht von der „Furcht der Landwirte, ihren mit Seewasser getränkten Boden zu bearbeiten, weil die Erfahrung sie zu häufig gelehrt hatte, daß dadurch die Dichtschlämmung mit all ihren verhängnisvollen Folgen nur befördert wurde". Endlich weist auch A. J. Swaving darauf hin, daß bei Meerwasserüberschwemmungen häufig nicht der Salzgehalt der Flächen die Ursache der Pflanzenschädigung ist, sondern die ungünstige Wirkung des Salzes auf die Bodenbeschaffenheit, und daß besonders die Bearbeitung solchen Landes auf Förderung der Entwässerung und Auswaschung des Salzes durch Anwendung des Untergrundpfluges beschränkt werden muß.[8]) Ja, man könnte vielleicht

[1]) Diese stellt auch L. G. den Berger bei seiner Besprechung der Wirkung von Meerwasser auf Erdboden in den Vordergrund. Vgl. Bull. Depart. agricult. Indes Néerland. **35**. 1 u. 2 (1910).

[2]) Gras ist widerstandsfähiger, vgl. G. Reinders a. a. O. 203—204.

[3]) Vgl. oben 335 und die dort wiedergegebene Beobachtung J. M. van Bemmelens; weiter G. Reinders a. a. O. 213.

[4]) A. Mayer, Forsch. Geb. Agrikulturphysik **2**, 264—265 (1879).

[5]) G. Reinders, Landw. Versuchsstat. **19**, 213 (1876).

[6]) G. Reinders a. a. O. 213.

[7]) A. Mayer, Journ. Landw. **27**, 407 (1879).

[8]) A. J. Swaving, Landw. Versuchsstat. **51**, 471 (1899).

aus den Angaben A. J. Swavings sogar schließen, daß das Unterbleiben jeder Bearbeitung—außer Beseitigung aufgeschwemmten Seesandes —noch vorteilhafter war und früher dem Lande wieder gute Erträge ermöglicht hat,[1]) als die Verwendung des Untergrundpfluges. Auffällig aber und noch nicht durch die soeben gebrachten Ausführungen erklärt ist die Erscheinung, daß das so gefährliche Dichtschlämmen des salzwasserüberschwemmten Bodens häufig erst später, im Laufe des ersten oder im zweiten Jahre nach der Überschwemmung, und im Anschluß an die Bearbeitung des geschädigten Landes eintritt. Schon G. Reinders weist hierauf hin und hebt besonders die Schädigung durch Pflügen des Bodens hervor.[2]) Nach seiner Ansicht ist gerade die lange Dauer der Schädigung des Landes durch Überschwemmungen mit Meerwasser wesentlich einer unzweckmäßigen, weitgehenden Bearbeitung nach der Überflutung zuzuschreiben. Besonders ist es aber A. Mayer gewesen, der scharf auf diese Tatsache der Schädigung im zweiten Jahre nach der Überschwemmung hinwies und zugleich auch die Ursachen hierfür wohl in erheblichem Umfange richtig darlegte.

Er konnte, und das ist gerade für die Erklärung der Beeinflussung der Bodenkolloide bei Meerwasserüberschwemmungen von höchster Wichtigkeit, feststellen, daß die Gefahr des Dichtschlämmens für solchen Boden besonders dann eintritt, wenn das Salz nahezu wieder beseitigt ist. Nicht nur A. Mayers eigene Untersuchungen, sondern auch eine ganze Reihe von Mitteilungen aus der Praxis führten übereinstimmend zu diesem Schlusse.[3]) Weiterhin sind die Beobachtungen A. Mayers auch von L. G. den Berger bestätigt worden, der ebenfalls bei kleineren Versuchen gerade bei Ersatz des Salzwassers durch salzfreies Wasser ein sehr starkes Undurchlässigwerden des Bodens beobachten konnte.[4])

Ich habe bereits früher eine Erklärung der hier vorliegenden Tatsachen zu geben versucht,[5]) die ich hier erweitert wiederholen will. Dabei soll aber nicht verschwiegen bleiben, daß eine neuerliche Durcharbeitung auf experimenteller Grundlage, die bereits begonnen worden ist,[6]) recht erwünscht erscheint, um mancherlei Fragen noch weiter klarzustellen.

Die besonders eine gewisse Zeit, unter Umständen ein Jahr nach

[1]) A. J. Swaving a. a. O. 467—469.

[2]) G. Reinders, Landw. Versuchsstat. **19**, 191—192, 213 (1876).

[3]) A. Mayer, Journ. Landw. **27**, 407—408 (1879); Forsch. Geb. Agrikulturphysik **2**, 262 (1879). Vgl. unten 355.

[4]) L. G. den Berger, Bull. départ. agricult. Indes Néerland. **35**, 8 (1910).

[5]) P. Ehrenberg, Mitteil. landw. Inst. Breslau **4**, 475 (1908).

[6]) Von O. Nolte im agrikulturchemischen Institute der Universität Göttingen.

der Überschwemmung eintretende Bodenschädigung erklärt sich nun etwa folgendermaßen:

Bei dem ersten Eindringen des Salzwassers in den Boden treten außer den bereits besprochenen Erscheinungen auch noch Umsetzungen auf dem Gebiete des Basenaustausches ein. Durch chemische Massenwirkung muß das im Überschuß vorhandene Natriumion des Kochsalzes gegen im Boden vorhandene, adsorbierte Metallionen, zumal Kalziumion, aber auch wohl Kaliumion,[1]) ausgetauscht werden. Da nun die Erscheinung des Basenaustausches wesentlich den von J. M. van Bemmelen unter die Kolloide gerechneten zeolithartigen Silikaten des Bodens[2]) eignet — nach W. R. Williams[3]) müssen wir sogar annehmen, daß ausschließlich die feinsten kolloiden Bodenteilchen die Fähigkeit der Adsorption und damit des Basenaustausches in deutlich merkbarem Umfange besitzen —, so liegt ebenso, wie aus theoretischen Gründen der Auffassung des Adsorptionsvorganges,[4]) es sehr nahe, daß auch der durch Kalksalze ausgeflockte Kolloidton am Basenaustausch erheblich Anteil nimmt. Er wird bei Meerwasserüberschwemmung in erheblichem Umfang sein Kalziumion gegen Natriumion austauschen. Auch soweit wir das Vorhandensein anderweitiger zeolithartiger Silikate im Boden annehmen, werden diese dann die von ihnen gebundenen Metallionen gegen Natriumion abgeben, so daß dies Ion weitgehend aufgenommen wird, während Kalziumion und — weniger — Kaliumion usw. in die Bodenflüssigkeit gelangen.

Tritt nun durch Regen die Auswaschung des salzigen Meerwassers ein, so werden mit ihm auch die durch Basenaustausch in die Bodenflüssigkeit gelangten Metalle, zumeist in ihren leichtlöslichen Chlor- oder

---

[1]) B. Schulzes Annahme, daß Natron Kalizeolithe nicht oder doch nur in sehr geringem Maße zu zersetzen vermöge, vgl. Landw. Versuchsstat. **79**, 448 (1913), widerspricht nicht nur allen bisher bekannten neueren Erfahrungen über den Vorgang des Basenaustausches selbst, sondern auch den Experimentaluntersuchungen von F. Storp, Landw. Jahrb. **12**, 800 ff. (1883); J. Fittbogen, Jahresber. Fortschr. Agrikulturchemie **16**, 7 (1876); J. Lemberg, ebendort **20**, 36 (1878), und ist endlich auch durch die irrtümliche Deutung der B. Schulzeschen Versuche durch ihren Bearbeiter zu erklären. In seinen längere Zeit systematisch auf Kali ausgeraubten Gefäßerden, die dabei vorher stets mit anderen, ebenfalls Basenaustausch bedingenden, löslichen Salzen, wie Ammoniumnitrat und Monokalziumphosphat gedüngt wurden — vgl. a. a. O. 434 —, konnte natürlich Kochsalz nicht mehr erhebliche Mengen von Kali durch Basenaustausch freimachen.

[2]) J. M. van Bemmelen, Landw. Versuchsstat. **35**, 136 (1888).

[3]) W. R. Williams, Forsch. Geb. Agrikulturphysik **18**, 235—236 (1895).

[4]) Oben 289 u. f.

salpetersauren Verbindungen, in die Tiefe gewaschen. Mit der Zeit vermindert sich durch diese Auswaschung auch die Menge des jetzt im Kolloidton gebundenen Natriumions, und nun kommt der Augenblick, in dem dieser durch das nur noch in geringer Konzentration vorhandene, einwertige Natriumion nicht mehr wie früher durch das stärker wirkende, weil zweiwertige Kalziumion im Gelzustande erhalten werden kann, sondern seine klebende Kraft verliert und in den Solzustand übergeht, ohne aber selbst, da er zunächst weitgehend adsorbiert bleibt, in größerem Umfange ausgewaschen zu werden. Auch K. K. Gedroiz konnte bei seinen Versuchen beobachten, wie mit Natron gesättigter Ton nach einer Zeit des Auswaschens in einen bindigen, klebrigen, gelatineartigen Körper überging, von dem aber nur etwa $1/2\%$ mineralische Stoffe leichter in Lösung zu bringen waren.[1] In ähnlicher Weise ist weiter zu beachten, daß zeolithartige Silikate, soweit man sie wenigstens künstlich herstellen konnte, in Gegenwart ausreichender Mengen von Neutralsalzen mehr körnig zu sein scheinen, dagegen deutlich kolloide Eigenschaften erhalten und trübe Flüssigkeiten geben, die sich nicht mehr absetzen, wenn die Salze ausgewaschen werden.[2]

Der Boden wird unter den hier in Betracht kommenden Verhältnissen um so mehr an löslichen Kalkverbindungen, die ausflockend auf Kolloidton und auf kolloide Humussäure wirken könnten, verarmt sein, als der Vorrat an leichter löslichem Kalk durch die oben erwähnten Umsetzungen mit dem Kochsalz bereits verringert sein muß, weiterhin aber durch die Meerwasserüberschwemmung sowohl das Bakterien- wie das Pflanzenleben mehr oder weniger beeinträchtigt worden ist und damit auch die Kohlensäurebildung im Boden.[3] Diese stellt aber durch ihre lösende Wirkung auf den Kalk in erster Linie die Quelle dar, aus welcher der Boden leichtlöslichen Kalk erhält. So sind nicht nur die leichter löslichen Kalkvorräte des Bodens zunächst den besprochenen Umsetzungen und dann der Auswaschung anheimgefallen, sondern es ist auch nur wenig Möglichkeit, daß zunächst durch Lösungswirkung der Bodenkohlensäure aufs neue Kalk in erheblicher Menge in die Bodenlösung gelangt.

Das durch den Regen mehr und mehr im Boden sich verbreitende salzarme Wasser muß so besonders leicht solbildend auf die Kolloide des Bodens, einschließlich der feinsten Sande, wirken können. Es kann

---

[1] K. K. Gedroiz, a. a. O. 55/56.

[2] Vgl. G. Wiegner, Journ. f. Landw. **60**, 201 (1912).

[3] Sowohl die durch bakterielle Zersetzung, wie die durch Wurzelatmung höherer Pflanzen bedingte.

dies in um so mehr erhöhtem und besonders wirksamen Grade, als statt des früher besonders stark wirkenden Kalziumions nur noch wesentlich das schwach wirksame Natriumion die Erhaltung des ausgeflockten Zustandes zu bewahren sucht, soweit dieser überhaupt noch vorhanden ist. Auch kommt in Betracht, daß, solange der Boden salzreich war, ein nachhaltiges, Kolloide mehr oder weniger irreversibel ausfällendes Austrocknen kaum eingetreten sein wird, da Salzlösungen den Boden feuchter erhalten.[1]

Es liegt unter diesen Umständen außerordentlich nahe, daß der Boden, wenn das Salz des Meerwassers aus ihm größtenteils ausgewaschen ist, aber noch nicht wieder durch Entwicklung der erforderlichen Kohlensäure genügend Kalksalze in die Bodenlösung zu gelangen vermögen, ohnehin schon stark dazu neigen wird, seine Struktur in ungünstiger Weise zu verändern. Doch wird das noch in verhältnismäßig geringem Grade der Fall sein wenn solch Boden sorgfältig vor Bearbeitung und überhaupt jeder Aufrührung geschützt wird. Ist, wie dies nicht selten der Fall sein wird, ein Pflanzenbestand auf dem überschwemmten Lande verblieben, so wird dieser in doppelter Weise nützlich wirken. Einmal, indem er den Anprall des Regens aufhält, zweitens durch die Kohlensäureentwicklung seiner Wurzeln, die Kalk in Lösung überführen, obwohl hier auch noch andere, ungünstige Folgen eintreten können.[2] Endlich wird selbstverständlich auf einem mit Pflanzen bestandenen Lande irgendwelche Beackerung überhaupt nicht in Frage kommen. Ist das Salz größtenteils aus dem Boden entfernt, so wird es dann zumeist auch nicht mehr lange dauern, bis wieder in Lösung gehendes Kalksalz die Bodenstruktur erneut zu festigen beginnt. -- Daß allerdings durch Förderung der Sodabildung die Kohlensäure unter diesen Umständen auch stark schädigend wirken kann, wird der größeren Klarheit der Darstellung halber erst später zu besprechen sein. — Kommt es dagegen besonders in der Zeit, in welcher das Kochsalz schon weitgehend aus dem Boden ausgewaschen ist, oder aber auch vorher zu starker Aufrührung und Bewegung des Bodens, so muß diese, wie stets bei durch Salze physikalisch ungünstig beeinflußten Boden, eine besonders schlimme Zusammenlagerung der Bodenteilchen und Zerstörung der Bodenkrümel herbeiführen. So sagt auch A. Mayer: „Das nachträgliche Dichtschlämmen des Bodens tritt um so vollständiger auf, je mehr man den Grund während der Dauer des Auswaschungsprozesses mechanisch bearbeitet." Unter anderen zeigten auch Versuche A. J.

[1]) G. Reinders a. a. O. 191, weiter auch 209—210.

[2]) Unten 286 u. f

Swavings[1]) die schädliche Wirkung einer Bearbeitung im Jahre nach der Überschwemmung.

Als weitere Ursache für die Meerwasserschädigung der physikalischen Bodeneigenschaften ist dann, besonders im Anschluß an Ausführungen von L. G. den Berger,[2]) das Quellen der Bodenkolloide anzusehen. Auch hier wird die Auswaschung von Kalk aus dem Boden, die bereits mehrfach erwähnt und in ihren Gründen dargelegt ist, eine erhebliche Rolle spielen. Zunächst sind im gewöhnlichen Marschboden oder Polderboden[3]) die quellbaren Bodensubstanzen, die eben wieder mit den Bodenkolloiden gleichartig sind, durch den in der Bodenlösung normalerweise vorhandenen salpetersauren und zumal doppeltkohlensauren Kalk wahrscheinlich wesentlich in ihrer Quellung beschränkt. Wird dann an dessen Stelle das Kochsalz, das nur einwertige Ionen bildet, treten, so muß die Quellung bereits stärker werden, da dies aus theoretischen Gründen zu folgern ist,[4]) die bereits besprochen wurden.[5]) Auch gilt Kochsalz nach Versuchen F. Hofmeisters,[6]) wie überhaupt die Chloride, direkt als die Quellung begünstigend.[7]) In reinem Wasser dürfte dann, wenn die Auswaschung durch den Regen weit fortgeschritten ist, der Höhepunkt der Quellung eintreten oder jedenfalls die Quellung erheblich größer sein, als in der mit doppeltkohlensaurem Kalk versehenen Bodenlösung, zumal verstärktes Auftreten von Hydroxylionen hinzutritt und wahrscheinlich die Quellung in nicht unbedeutendem Masse fördert.[8]) So mag sich auch die günstige Wirkung von sekundärem Natriumphosphat[9]) auf die Quellung der Bodenkolloide erklären, die L. G. den Berger feststellen zu können glaubt.[10]) Auch K. K. Gedroiz folgt L. G. den Bergers Ansicht betreffs der Bedeutung des Quellungsvermögens wenigstens insoweit, als er dies für unseren Fall besonders hervor-

[1]) A. J. Swaving, Landw. Versuchsstat. **51**, 467—468 (1899).

[2]) L. G. den Berger, Bull. départ. agricult. Indes Néerland. **34**, 14 ff. (1910). In verschiedenen seiner Ansichten vermag ich allerdings L. G. den Berger nicht zu folgen.

[3]) Polder ist das dem Meer abgewonnene Land.

[4]) Vgl. H. Freundlich, Kapillarchemie (Leipzig 1909) 513, weiter 516.

[5]) Vgl. oben 31, auch 61, 148, wie 192 und 199 ff.

[6]) F. Hofmeister, Arch. f. exp. Pathol. Pharmakol. **28**, 210 (1891).

[7]) F. Hofmeisters Versuche sind freilich, was sehr zu beachten sein dürfte, nur mit tierischen Leimsubstanzen ausgeführt.

[8]) Vgl. oben 193.

[9]) das bekanntlich schwach basisch reagiert.

[10]) L. G. den Berger a. a. O. 20. — Nämlich durch die alkalische Reaktion des Salzes.

hebt.[1]) Es fehlt auf diesem Gebiet leider noch recht weitgehend an Untersuchungen, die für nähere Schlüsse verwendbar wären. — Weiter mag hier noch darauf hingewiesen sein, daß sehr wahrscheinlich auch die noch später zu würdigende Umsetzung von Kochsalz mit kohlensaurem Kalk und Kohlensäure in durch Meerwasser geschädigtem Boden stärkere Wirkungen auslöst. Es werden die dadurch vermehrt auftretenden Hydroxylionen auf vorhandene Humussubstanzen in der Richtung hinwirken, daß diese sich als Schutzkolloide betätigen,[2]) und ähnlich wie beim Gießverfahren der Tone das Zusammenfließen des Bodens nach Bearbeitung desselben schon bei Wassergehalten möglich machen, die sonst dazu noch nicht ausreichen würden.

Endlich bedingt der durch das Zusammenfließen des Bodens bedingte Abschluß der Luft auch noch Reduktionsvorgänge im Boden, die sich überhaupt dem Pflanzenwachstum schädlich erweisen,[3]) und als deren Folge dann oft schwarze, schwefeleisenhaltige Schichten auftreten.

Daß Zufuhr von Kalk in einer möglichst leicht löslichen Form, und zwar besonders zu der Zeit, in der die Auswaschung des Kochsalzes nahezu beendet ist, den besten Erfolg haben müßte, sollte man zunächst theoretisch annehmen.[4]) Doch wird dies wohl nur dort der Fall sein können, wo nicht der Boden ohnehin noch genügend Kalk enthält, der dann auch bald in Lösung geht und so den Schäden entgegenwirkt. Denn A. Mayer[5]) konnte wenigstens auf einem ohnehin kalkreichen, von Meerwasser überschwemmten Boden keine günstige Wirkung von zugeführtem gebrannten Kalk beobachten, was ja auch ziemlich erklärlich sein dürfte. A. J. Swaving[6]) dagegen beobachtete, daß nach der Überschwemmung einem Polder zugeführter Kalk „sehr gut zustatten kam"

[1]) K. K. Gedroiz, a. a. O. 56.

[2]) Vgl. Th. Schlösing, Compt. rend. **78**, 1279 (1874); E. Fickendey, Journ. f. Landw. **54**, 344 (1906).

[3]) G. Reinders, Landw. Versuchsstat. **19**, 211 (1876).

[4]) D. J. Hissink glaubte allerdings, wohl durchaus irrtümlich, annehmen zu sollen, daß Kalk nur deswegen weniger auf Verkrustung des Bodens hinwirke als Kochsalz, weil er weniger löslich sei. Vgl. Chem. Weekblad **3**, 395 (1906). Ähnliche unrichtige Ansichten über Wirkung von Salzen auf den Boden auch bei A. Mitscherlich, Fühlings landw. Ztg. **51**, 588 (1902); Bodenkunde, 2. Aufl., 101 (1913).

[5]) A. Mayer, Journ. Landw. **27**, 398—399 (1879).

[6]) A. J. Swaving, Landw. Versuchsstat. **51**, 469 (1899).

Auch von vielen anderen Seiten ist Kalk empfohlen worden,[1] der dann zumeist in Form des gebrannten Kalkes gegeben worden sein wird. Freilich bringt das sich dabei in der Bodenlösung verbreitende Kalziumhydroxyd zunächst neue Mengen von Hydroxylion zur Wirkung auf den Boden, und es wäre durchaus möglich, daß Zuführung von Chlorkalzium günstiger wirkte, vielleicht auch von Monokalziumphosphat.[2] Doch liegen Versuche hierüber nicht vor, es dürfte auch die praktische Anwendung dieser Stoffe, mit Ausnahme des wasserlöslichen Kalkphosphats als Superphosphat, größeren Schwierigkeiten begegnen.

Findet die Anwendung von Kalk gegen Meerwasserüberschwemmungsschäden nicht ungeteilte Empfehlung, wie soeben ausgeführt werden konnte — wir werden später in der Sodabildung eine wohl teilweise maßgebende Erklärung dafür kennen lernen —, so ist dagegen der Frost als bestes Mittel gegen solche Schädigungen der physikalischen Bodeneigenschaften bekannt.[3] Freilich ist ein experimenteller Nachweis dieser günstigen Wirkung meines Wissens nicht erbracht worden, ja, wohl nur einmal gelegentlich versucht.[4] Doch ist nach all dem, was über die günstige Wirkung des Frostes auf die Ausflockung des Tons und über die sonstigen Folgen eines Ausfrierens des Erdbodens oben gesagt wurde, wohl kaum an der Richtigkeit der erwähnten Beobachtung[5] zu zweifeln. Schon früher konnte ich darauf hinweisen, daß bekanntlich der Frost in hervorragender Weise in der Lage ist, für den Solzustand im Boden den der Ausflockung, den Gelzustand, eintreten zu lassen, so daß auch seine günstige Wirkung auf meerüberflutetes Land auf dieser Grundlage beruhen dürfte. Auch wird der unter dem Einfluß des Frostes Krümelstruktur annehmende Boden das Wasser besser durchfließen lassen und so die Auswaschung der übermäßigen Salzmengen durch den Regen fördern. Wahrscheinlich können, wie wir früher gesehen haben, durch Frost auch im Boden gebundene Salze leichter löslich werden. — So ist nach unseren gesamten Über-

[1]) Journ. Landw. **27**, 391, 399 (1879).

[2]) A. Mayers Feldversuche, Journ. Landw. **27**, 398 (1879), ergaben für Superphosphat zwar kein sonderlich günstiges Ergebnis, doch war der Boden dort eben recht kalkreich. Auch sind die Ergebnisse der Vergleichsstücke nicht besonders gleichartig.

[3]) A. Mayer, Journ. Landw. **27**, 408 (1879).

[4]) Ebendort, Anmerkung.

[5]) Vgl. diese auch bei A. Mayer, Forsch. Geb. Agrikulturphysik **2**, 272 (1879).

legungen denn auch die Salzschädigung durch Meerwasser, soweit sie die physikalischen Bodeneigenschaften trifft, auf eine Kolloidbeeinflussung zurückzuführen.[1]) Wir werden bei der nun noch zu besprechenden Salzschädigung des Bodens dafür weitere Beweise erhalten.

Die vielleicht im Anschluß an Seewasserschädigungen des Erdbodens noch zu erwähnende Beobachtung E. W. Hilgards,[2]) daß Seewasser beim Durchfiltrieren durch die Sande der Küste seinen Salzgehalt verliert, und zwar um so stärker, je feiner der Sand oder je tonhaltiger er ist, darf wohl nicht, wie E. W. Hilgard dies will, auf physikalischem Wege durch Adsorption des Salzes an der Oberfläche der feinen Bodenteilchen erklärt werden.[3]) Es dürfte sich vielmehr um ziemlich verwickelte Vorgänge handeln, bei denen gewiß auch der Basenaustausch eine gewisse Rolle spielen wird, vor allem aber meteorologische Verhältnisse.[4]) — Daß überhaupt unsere Marschen ihre Entstehung im wesentlichen der Wirkung der Meeressalze auf von den Flüssen und Strömen bis ins Meer fortgetragene Bodenkolloide zu verdanken haben, ist ja bekannt. Die vom Süßwasser so lange mitgeführten Trübungen[5]) werden durch die hohe Salzkonzentration des Meerwassers ausgeflockt und lagern sich daher an der Nähe der Mündungen der Ströme ab, Deltabildungen, wie beim Nil und Mississippi erzeugend,[6]) wenn nicht allmähliches Absinken der Küste dem entgegenwirkt.[7]) Sonst werden sie auch an anderen Stellen abgesetzt.

Der zweite wichtige Fall eines Salzeinflusses auf die Bodenkolloide in der Natur ist das Auftreten und die Bildung der sog. Alkaliböden.

[1]) P. Ehrenberg, Mitteil. landw. Inst. Breslau **4**, 476 (1908).

[2]) E. W. Hilgard, Soils (New York 1906) 267.

[3]) E. v. Lippmann und E. Erdmann weisen diesbezüglich alte Irrtümer nach. Chem. Ztg. **35**, 629 (1911).

[4]) E. W. Hilgard lehnt die letzteren für manche Fälle ab, vgl. aber F. Schucht, Intern. Mittlg. Bodenk. **2**, 530 (1912).

[5]) Nicht die schon vorher im Fluß niedergeschlagenen! Die Verwechselung beider und anderes bedingt Irrtümer, vgl. A. Rühl, Veröffentl. Instit. Meereskunde **8**, 12 (Berlin 1906).

[6]) W. H. Sidell u. Meade, Report to Captain Talcott. Humphreys a. Abbot, Rep. Physics Hydraul. Mississippi, Append. A. **3**, 5 u. f. (1861); Waldie, Journ. Asiat. Soc. Bengal **42**, II, 210 (1873); L. F. Vernon-Harcourt, Min. Proc. Inst. Civ. Engin. **142**, 272 (London 1900); vgl. auch oben 132, Anm. 5.

[7]) Deswegen unterbleibt die Deltabildung jetzt bei unseren in die Nordsee mündenden deutschen Strömen.

2. Alkaliböden.

a) Gründe der Erscheinung.

Diese unter anderem in Ungarn,[1]) an der Küste Südspaniens,[2]) in den Vereinigten Staaten von Nordamerika,[3]) Kanada[4]) und Rußland[5]) nicht seltenen Böden sind für aride Gegenden kennzeichnend.[6]) Sogar geschichtlich mögen sie gelegentlich insofern eine Rolle gespielt haben, als durch ihre Ausdehnung eine alte Kultur verdrängt worden sein kann, so in Asien.[7]) Sie verdienen die Aufmerksamkeit des Landwirtes um so mehr, als in sehr vielen Fällen eine Verbesserung dieser sonst keine oder nur schwache Erträge gebenden Ländereien in der Richtung möglich ist, daß üppige Ernten erzielt werden, worauf unter anderen besonders E. W. Hilgard hinwies.[8]) — Wie kommt aber die Wirkung der Salze auf die Bodenkolloide dazu, als Erklärung für die eigentümlichen Eigenschaften der Alkaliböden zu dienen?

Abflußlose Gebiete müssen, was ja besonders J. Walther für geologische Verhältnisse ausgeführt hat,[9]) mit der Zeit versalzen. Denn die durch die Wässer gelösten Salze bleiben bei der Verdunstung der Feuchtigkeit zurück und das frisch heranströmende Wasser bringt immer wieder neu aus dem Boden gelöstes Salz hinzu. So ist das Tote Meer mit dem Jordantal ein Schulbeispiel für diesen Fall.

Ähnliche Verhältnisse, nur ganz im kleinen, müssen überall eintreten, wo der jährliche Regenfall nicht ausreicht, den Boden wirklich zu durchspülen; die löslich gewordenen, aber von Pflanzen nicht aufgenommenen Salze des Bodens können so nicht in das Grundwasser und aus ihm unterirdisch in Quellen oder Flüsse, bei moderner Landwirtschaft meist durch Vermittlung von Dränagen, abfließen. Derart liegen die

[1]) A: A. J. v. 'Sigmond, Földtani Közlöni (1906) 439; P. Treitz, ebenda (1908) 106, angef. nach K. Glinka, Typen d. Bodenbildg. (1914) 180. L. Schwarz, Kühn-Archiv **4**, 298 (1913).

[2]) E. W. Hilgard, Forsch. Geb. Agrikulturphysik **16**, 127 (1893).

[3]) Von hier stammt der Name „Alkaliboden"

[4]) F. T. Shutt, zit. nach Fortschr. Agrikulturchemie **18** (des ganzen Werks **38**), 76 (1895).

[5]) Vgl. z. B. K. K. Gedroiz, Mitteil. Bur. Ackerbau Bodenk. usw. **8**, 20 (1913).

[6]) E. W. Hilgard, Soils (New York 1906) 424.

[7]) P. Kossowitsch u. N. Tulaikow, Journ. exp. Landw. **7**, 147 (1906).

[8]) E. W. Hilgard a. a. O. 484.

[9]) J. Walther, Gesetz d. Wüstenbild. (Berlin 1900).

Verhältnisse in den ariden Gegenden. Durch den spärlichen Regenfall[1]) des Jahres wird der Boden bis zu gewissen Tiefen angefeuchtet und Verwitterungserscheinungen, teilweise wohl durch höhere Wärmegrade[2]) begünstigt, machen sich bemerkbar, wobei besonders Alkalisalze gelöst werden. Doch die über die Regenmenge überwiegende Verdunstung verhindert eine weitere Fortführung dieser sich von Jahr zu Jahr vermehrenden Salzmengen, schafft sie vielmehr zum größeren Teil auch aus der Tiefe in der Oberfläche nähergelegene Schichten herauf. So kommt es, natürlich nach den sonstigen Umständen in oft sehr wechselndem Umfange, zu einer Anhäufung von Alkalisalzen im Boden. Eine in mancher Weise der Versalzung durch Meerwasserüberschwemmung ähnliche Wirkung auf den Boden und seine Kolloide muß die Folge sein. Es kommen auch Übergangserscheinungen vor, indem typische Sodaböden auch als Bildungen des zurücktretenden Meeres beobachtet worden sind.[3]) Sogar salzhaltige Tonschichten früherer geologischer Perioden können den darüberliegenden Boden versalzen.[4])

Zwar wird die beim Einbrechen des Meeres durch mechanische Aufwühlung und Verschlämmung eintretende Bodenschädigung fortfallen. Denn die Salzanhäufung tritt ja in dem hier besprochenen Fall ganz langsam und allmählich, in vielen Jahren, ja, Jahrzehnten und länger, erst ein. Auch spielen nicht große Wassermassen eine Rolle.

Dagegen wird die allmähliche Anreicherung des Bodens mit Alkalisalzen in ähnlicher Weise, wie dies für Meerwasserwirkung schon besprochen wurde, zu Wechselzersetzungen und dadurch zur Auflösung der Bodenkrümel führen müssen.

Wie bereits oben geschildert wurde, nimmt die Löslichkeit des kohlensauren Kalkes bei Gegenwart von Alkalisalzen zu.[5]) Schon hierdurch ist nach dem Massenwirkungsgesetz zu erwarten, daß in einer kalkhaltigen Erdboden durchsetzenden Kochsalzlösung z. B. sich etwas Natriumkarbonat bildet. Dies wird in einem seiner Konzentration im Bodenwasser und den Gesetzen des Basenaustauschs entsprechenden

[1]) Auch die Form und die zeitliche Verteilung der Niederschläge ist bedeutungsvoll. Vgl. auch Chr. Ohly, Internat. Mitteil. Bodenkunde **3**, 438 (1913).

[2]) Infolge starker Besonnung.

[3]) Zit. nach E. W. Hilgard, Fortschr. Agrikulturchemie **27** (**47**), 56 (1904), wo auch weitere Literatur angegeben ist, u. a. Arbeiten von P. Kossowitsch. Vgl. dessen Ansichten auch Journ. exp. Ldw. **4**, 43 (1903); **5**, 369 (1904).

[4]) Vgl. P. Kossowitsch, Journ. exp. Ldw. **4**, 51 (1903). Chr. Ohly, Intern. Mitteil. Bodenk. **3**, 439 (1913).

[5]) Vgl. hierzu auch S. Tanatar, Ber. Deutsch. chem. Ges. **29**, 1038 (1896).

Umfange vom Boden aufgenommen werden und auf Solbildung, Lösung der Bodenkrümel, Zusammenfließen des Erdreichs usw. hinwirken, da ja dies Vermögen den Alkalien und Alkalikarbonaten[1]) eigen ist. Der Boden der Alkaliländereien zeigt, falls das weniger schädliche, mehr mit neutraler Reaktion Hand in Hand gehende „Weißalkali" in Betracht kommt, verhältnismäßig schnelle Klärung seines Auszuges, wogegen für „Schwarzalkali"[2]) bei alkalischer Reaktion und Dunkelfärbung des Auszuges das Auftreten der Klärung der Aufschlämmung unterbleibt.[3]) Nach N. N. Stepanow war nach vielen Wochen noch kein Niedersinken der feinen Bodenteilchen zu beobachten.[4]) Auf die Verwendung der Soda zur Tonverflüssigung konnte ja z. B. schon öfters hingewiesen werden. Immerhin würden aber die auf dem soeben und weiter oben besprochenen Wege gebildeten Sodamengen unbedeutend sein und daher nur innerhalb sehr mäßiger Grenzen wirken können.

Wesentlich bedeutungsvoller wird die Sodabildung natürlich werden müssen, wenn die Konzentration des Kalks in der Bodenlösung noch weiter zunimmt. Denn wenn kohlensaurer Kalk und Kochsalz in einer Lösung hohe Konzentrationen erreichen, so muß nach dem Massenwirkungsgesetz die Bildung von Chlorkalzium und kohlensaurem Natron auch einen nennenswerten Umfang gewinnen. Möglich und durchaus leicht in der Natur zu verwirklichen ist nun die Erhöhung der Konzentration des kohlensauren Kalks in der Bodenlösung durch Auftreten überschüssiger Kohlensäure im Erdboden. Die Löslichkeit des kohlensauren Kalkes, die ja sonst mit $1{,}31 \cdot 10^{-3}$ in 100 g Wasser eine recht geringe ist,[5]) steigt dann wie bekannt ganz erheblich, auf 0,7 g im Liter[6]) und mehr. Die selbsttätige Folge einer Vermehrung der Konzentration des kohlensauren Kalks in der kochsalzhaltigen Bodenlösung muß aber vermehrtes Auftreten von kohlensaurem Natrium und Chlorkalzium in der Bodenlösung sein, wobei allerdings wieder das Vorhandensein der Soda die Löslichkeit des Kalks im kohlensauren Wasser etwas herabdrückt.[7])

Indessen bietet eine starke Konzentration des Kochsalzes auch

[1]) Auch voraussichtlich andern, hydrolytisch stärker gespaltenen Salzen der Alkalien.

[2]) Vgl. unten 358.

[3]) P. Kossowitsch, Journ. exp. Ldw. **4**, 51/52 (1903).

[4]) N. N. Stepanow, ebenda 694.

[5]) V. Rothmund, Löslichk. u. Löslichkeitsbeeinfl. (Leipzig 1907) 125.

[6]) Nach S. Tanatar, Ber. Deutsch. chem. Ges. **29**, 1036 (1896). Vgl. auch J. Roth, Allgem. u. chem. Geologie (Berlin 1879) **1**, 49.

[7]) Vgl. S. Tanatar a. a. O.

wieder ein Hindernis gegen das sonst zu erwartende, deutliche Auftreten der alkalischen Reaktion. G. Bodländer und P. Breull[1]) stellten nämlich in weiterer Klärung einer bereits von H. Müller[2]) und H. Schulz[3]) beobachteten Erscheinung folgendes fest: Kohlensäurelösungen reagieren bei Zusatz von Kochsalz deutlich stärker sauer. „Leiten wir Kohlensäure in eine Kochsalzlösung, so bilden sich zunächst gleichviel H- und HCO_3-Ionen, aber von den letzteren verschwindet ein Teil, um mit den Natriumionen des Kochsalzes undissoziiertes Natriumbikarbonat zu bilden. Von den Wasserstoffionen verschwinden auch einige, indem sie mit den Cl-Ionen des Kochsalzes Chlorwasserstoff geben. Da aber die Dissoziation der Chlorwasserstoffsäure (Salzsäure) eine stärkere ist, als die des Natriumbikarbonats, so nimmt die Menge der Wasserstoffionen weniger ab als die der Bikarbonationen, die Lösung wird also sauerer als bei Abwesenheit von Kochsalz."[4]) Greifbar deutlich ergibt sich dies noch aus einigen von G. Bodländer und P. Breull mitgeteilten Zahlen:
die Konzentration der Wasserstoffionen, oder mit anderen Worten, der Säuregrad, beträgt

bei Atmosphärendruck der Kohlensäure und Abwesenheit von Kochsalz $1,15 \cdot 10^{-4}$,

bei Atmosphärendruck der Kohlensäure und normaler Kochsalzlösung $1,4 \cdot 10^{-4}$.

Die Gegenwart von Kochsalz in normaler Lösung, wie es etwa auch in einem von Meerwasser überschwemmten Boden vorhanden sein dürfte, reicht also aus, um den Säuregrad um nahezu ein Viertel zu steigern. Dadurch muß natürlich eine sonst sich zeigende, alkalische Reaktion schwächeren Grades, wie sie aber durchaus schon genügen wird, um ungünstige Wirkungen im Erdboden zu verursachen, beseitigt werden. —

Wir werden hier zunächst noch einen Gesichtspunkt zur Beurteilung der Verhältnisse bei Seewasserüberschwemmung von Acker- oder Weideland nachzutragen haben, der vorher sich der Besprechung nicht so gut angepaßt hätte. Es wird diese Sodabildung durch Gegenwart von kohlensaurem Kalk, Kohlensäure und Kochsalz im Boden sich nämlich auch bei Überflutung durch das Meer ergeben können. Allerdings nur unter besonderen Bedingungen.

[1]) G. Bodländer und P. Breull, Zeitschr. angew. Chem. 381 (1901).
[2]) H. Müller, Ber. deutsch. chem. Ges. **3**, 40 (1870).
[3]) H. Schulz, Arch. ges. Physiolog. **27**, 474 (1882).
[4]) G. Bodländer und P. Breull, a. a. O. 386/7.

Ist die Überflutung recht stark gewesen, so wird das Leben höherer Pflanzen abgetötet oder wenigstens gehemmt.[1]) Die Kohlensäurebildung im Boden muß sich daher vermindern. Auch die durch Bakterientätigkeit im Boden entstehende Kohlensäuremenge dürfte herabsinken. In diesem Falle kann die hier behandelte Möglichkeit der Sodabildung demnach eine stärkere Bedeutung wohl kaum beanspruchen.

Außerdem muß auch die soeben besprochene, den Säuregrad steigernde Wirkung des Kochsalzes auf im Boden vorhandene Kohlensäure, mag sie biologischen Ursprungs sein, oder aus Lösung von kohlensaurem Kalk herstammen, eine Rolle spielen. Der Säuregrad nimmt zu, und eine etwa sonst in Erscheinung tretende, alkalische Reaktion im Boden wird zurückgedrängt. So lange demnach erhebliche Kochsalzmengen sich im Boden finden, so lange die Auswaschung dieses Hauptbestandteils der Meersalze noch nicht weit genug fortgeschritten ist, bleibt die Reaktion im Boden somit annähernd neutral, und die Schädigungen durch Krümelzerstörung, Verschlämmen und dergleichen müssen noch wenig hervortreten.[2])

Anders, wenn im Laufe der Zeit das Kochsalz mehr und mehr ausgewaschen wird, wie dies, unterstützt durch Frostwirkungen und Niederschläge, häufig im zweiten Jahre der Schädigung sich merkbar machen dürfte. Je mehr die Konzentration des Kochsalzes sinkt, desto stärker tritt seine im Anschluß an G. Bodländer und P. Breull oben dargelegte Fähigkeit, den Säuregrad zu steigern, zurück, und gestattet so dem Natriumbikarbonat im Boden, oder, wie wir weniger genau, aber verständlicher sagen wollen, dem Sodagehalt des Bodens, sich geltend zu machen, mit allen damit zusammenhängenden Schädigungen für denselben.[3])

---

[1]) Über die Empfindlichkeit landwirtschaftlich genutzter Pflanzen gegen Meerwasser vgl. man außer den hier mehrfach genannten Schriftstellern auch Borely, Journ. agricult. prat. **41** (2), 719 (1877).

[2]) Vgl. dazu A. Mayer oben 277, G. den Berger am gleichen Ort, ferner D. J. Hissink, Intern. Mittlg. Bodenk. **6**, Sonderdruck, 6 (1916), E. Ramann, S. März und H. Brauer, ebendort **6**, Sonderdruck, 18 (1916), wo die Erscheinung nicht oder falsch erklärt wird. Nur J. Setschenow scheint offenbar bereits, Zeitschr. phys. Chemie **4**, 119, 121 (1889), mit diesen Tatsachen gerechnet zu haben. Die Verdünnung der Lösungen im Zusammenhang mit hydrolytischen Erscheinungen vermag dagegen für die hier vorliegenden Verhältnisse keine Rolle zu spielen, denn die Hydrolyse nimmt, vgl. Shields, Zeitschr. phys. Chem. **12**, 177 (1893), mit steigender Verdünnung zwar im Verhältnis zum vorhandenen Salze stark zu, absolut dagegen ab.

[3]) Daß die hier gegebene Erklärung die richtige ist, wird auch aus einer Notiz von E. W. Hilgard deutlich — Ber. Deutsch. chem. Ges. **25** (2), 3626 (1892) —, nach der die bei Gegenwart von Kohlensäure eintretende Umsetzung von Kalzium-

Ist die Salzanhäufung im Boden wieder soweit zurückgegangen, daß das Pflanzenleben sich wieder stärker betätigen kann, sei es auch nur in Form der Entwicklung niederer Pflanzen,[1]) so kommen zwei Möglichkeiten in Frage. Entweder wird von höheren Pflanzen Kohlensäure entwickelt. Diese bringt Kalk vermehrt in Lösung.[2]) Aber soweit die Pflanzen sich kräftig entwickeln, wird auch ihre Aufnahmetätigkeit für Bodensalze keine unerhebliche sein und so die Konzentration auch des Kalziumbikarbonats in der Bodenlösung wieder vermindern. Auch muß, wenn es zu einer irgendwie erheblichen Konzentrationssteigerung des kohlensauren Kalks im Boden und im Anschluß dazu zu wachsender Sodabildung kommen sollte, eben diese steigende Sodabildung wieder die höheren Pflanzen schädigen und demnach ihre Kohlensäureausscheidung herabdrücken. Es wird so nicht nur solange der Boden durch das Seewasser stark versalzt ist, sondern auch später, falls er eine nennenswerte Vegetation trägt und erhält, bei dieser Gelegenheit mit erheblicher Sodabildung im Boden kaum zu rechnen sein.

Wohl aber mag solche eintreten können und dies ist hier im Anschluß an das Pflanzenleben der zweite der Fälle, wenn der höhere Pflanzenwuchs durch die Seewasserüberschwemmung vernichtet wurde und dann, nachdem ein Teil des Salzes ausgespült ist, unter Umständen vielleicht auch vorher, der Boden stärker bearbeitet wird. Die Überreste der früheren Pflanzenbestände wie auch die Humussubstanzen im Boden konnten während des Vorherrschens stärkeren Salzgehalts im Boden bakterieller Zersetzung wohl nur verhältnismäßig wenig unterliegen. Auch später muß dies, falls eine Bearbeitung nicht durchgeführt wird, annähernd ähnlich der Fall sein, weil die Luftzufuhr in den Boden hinein nur gering sein wird; ist die Erde doch immer mehr oder weniger verschlämmt. Anders aber liegen die Verhältnisse, wenn durch Bearbeitung der Boden zunächst durchlüftet und aufgeschlossen wird. Nun kann die Arbeit der Kleinlebewesen wieder vermehrt einsetzen und Kohlensäure in ganz erheblichen Mengen sich bilden. Damit wird reichlich Kalk in die Bodenlösung gebracht, der zwar einerseits die Ausflockung der Tonteile fördern und dadurch günstig wirken müßte. Gleichzeitig aber bedingt er infolge der oben besprochenen und weiter unten

---

karbonat und Natriumsulfat zu Soda und Gips in stärker verdünnten Lösungen nahezu quantitativ verläuft. Bei Gegenwart stärkerer Mengen von Natriumsulfat wird dies, wenn auch etwas weniger als Kochsalz, in der erwähnten Art und Weise die Azidität erhöhen, somit die Sodabildung verringern.

[1]) Das heißt auch Bakterien u. dgl.

[2]) Darauf wurde ja bereits oben hingewiesen.

noch eingehend zu behandelnden Umsetzungen Bildung von Soda, solange noch zwar nicht mehr besonders starke, aber immer noch nennenswerte Mengen von Kochsalz oder ähnlichen Salzen im Boden vorhanden sind. Und die Soda äußert ihren sehr ungünstigen Einfluß auf die Bodenstruktur in bekannter Weise. Die Erde setzt sich jetzt unter ihrer Wirkung in erhöhtem Maße zusammen.

Säurereaktion steigernde Wirkung höherer Kochsalzkonzentration, sowie geringere Bildung von Kohlensäure und damit auch Soda infolge Hemmung der biologischen Vorgänge im Boden müssen demnach vereint die sonst entstehende, alkalische Reaktion in dem mit Seewasser überschwemmten Boden zunächst weniger in Erscheinung treten lassen. Mit zunehmender Auswaschung des Kochsalzes zeigt sie sich dann immer deutlicher.

In welchem Umfange diese Verhältnisse, oder wieweit die früher besprochenen Gründe in jedem einzelnen Fall die Ursache für das Zusammenschlämmen des von der See überschwemmt gewesenen Bodens während der Wiederauswaschung des Salzes abgeben, kann selbstverständlich hier nicht angegeben werden, da es von den jeweiligen Umständen abhängen wird. —

Wenden wir uns aber den Bedingungen für die Entstehung sogenannter Alkaliböden in ariden Gegenden wieder zu, so hatte festgestellt werden können, daß infolge der über den Regenfall überwiegenden Verdunstung dort die im Boden allmählich durch die Verwitterung löslich werdenden Salzmengen, besonders wohl Chloride und Sulfate der Alkalien, nicht ausgewaschen und so wenigstens zum erheblichen Teil beseitigt werden können. Zunächst werden zwar die Pflanzen die Kali- und auch zum Teil die Natronverbindungen aufnehmen, ohne aber dadurch in der Lage zu sein, die dauernd fortschreitende Salzanreicherung im Boden hemmen zu können, zumal ja auch gerade in ariden Gegenden, soweit nicht künstliche Bewässerung hilft, der Pflanzenwuchs nur zeitweise günstige Entwicklungsbedingungen findet. Die bereits geschilderte und nach dem Massenwirkungsgesetz im voraus zu berechnende Bildung von Natriumkarbonat wird sich hier nun noch weit stärker als in dem schon besprochenen Falle der Meerwasserüberschwemmung zeigen müssen. Denn während der trockenen Zeit häufen sich auf und im Boden Pflanzenreste an, die nun beim Eintritt einer Befeuchtung durch Regen um so stärker Kohlensäureentwicklung verursachen werden, als der Boden arider Gegenden infolge seiner eigenartigen Verwitterungs- und Adsorptionsverhältnisse[1]) zunächst in der Regel gut luftdurchlässig

[1]) Vgl. oben 319.

ist. So bildet sich unter dem Einfluß dieser Kohlensäure bei Gegenwart von nennenswerten Mengen von Kochsalz und kohlensaurem Kalk im Boden denn Chlorkalzium und Soda, welch letztere ihre ungünstigen Wirkungen auf das Bodengefüge äußern muß.

Natürlich muß auch hier wieder die Fähigkeit des Kochsalzes, die Reaktion nach der Richtung einer gesteigerten Azidität zu verschieben, zur Geltung kommen, und zwar noch weitaus mehr, als bei Meeresüberschwemmungen, weil wir mit unter Umständen sehr erheblichen Konzentrationen des Kochsalzes zu rechnen haben werden. Es sollte aus theoretischen Gründen somit die in Erscheinung tretende Alkaleszenz der Bodenlösung eine vergleichsweise geringe sein. Ja, es kommt noch ein nach der gleichen Richtung hin wirkender Umstand hinzu:[1]) In konzentrierten Lösungen sind die für verdünnte Lösungen streng gültigen Dissoziationsgesetze nicht mehr quantitativ anwendbar. Es treten dabei Abweichungen auf, die einen ähnlichen Grund haben, wie die Abweichungen komprimierter Gase von den für verdünnte Gase gültigen, einfachen Gesetzen. Diese Abweichungen haben, wie S. Arrhenius gezeigt hat,[2]) den Einfluß, daß Säuren stärker wirken, als ihrem Dissoziationsgrade entspricht. Es wird gleichsam die Menge der Wasserstoffionen, oder vielmehr ihre Wirksamkeit vermehrt. Auf diesem Wege muß gleichfalls bei Anwesenheit erheblicherer Mengen von Kochsalz im Boden die Aussicht auf alkalische Reaktion sich vermindern. Wird dagegen der Boden nun ausgewaschen, und dadurch die so erhebliche Kochsalzkonzentration auf geringere Grade herabgemindert, so ist mit steigendem Auftreten alkalischer Reaktion zu rechnen. — Der Tatbestand gibt diesen theoretischen Ableitungen in weitestem Umfange recht.[3]) Denn K. K. Gedroiz

[1]) G. Bodländer und P. Breull, Zeitschr. angew. Chemie 387 (1901)

[2]) S. Arrhenius, Zeitschr. Elektrochem. **6**, 10 (1899/1900).

[3]) Allerdings hat L. Michaelis mit P. Rona — Zeitschr. Elektrochem. **14**, 251 (1908); Biochem. Zeitschr. **23**, 61 (1909) — bei Bearbeitung ganz ähnlicher Vorwürfe, wie sie Bodländer vorlagen, andere Überzeugungen gewonnen. Er erwähnt auch, daß „eine mit sehr wenig Natriumkarbonatlösung eben rosa gefärbte Phenolphtaleinlösung mit KCl in Substanz versetzt, sich fast entfärbt" Freilich will er auf Grund von Messungen der Wasserstoffionenkonzentration diese Verstärkung des Säuregrades als nur scheinbar ansehen. Andererseits liegen aber auch von Bodländer und Breuell Messungen vor, die ihre Anschauungen zu bestätigen scheinen (a. a. O. 389). Es wird daher wohl an Bodländers auch theoretisch gut erklärbarer Ansicht festzuhalten und nur darauf hinzuweisen sein, daß Indikatoren wenig geeignet erscheinen dürften, bei stärkeren Salzkonzentrationen auch für Bodenuntersuchungen Anwendung zu finden.

stellte fest,[1]) daß in Salzböden, die reich an Kochsalz sind, und fast kein schwefelsaures Natron enthalten, alkalische Reaktion sich erst nach dem Auswaschen eines Teiles des Kochsalzes zeigt. Ihre Stärke wächst in dem Maße der Entfernung des Kochsalzes. Die gleiche Beobachtung machte im Göttinger Agrikulturchemischen Institut O. Nolte. Es sei weiter auch auf die bereits oben bei Besprechung der Wirkung von Meerwasserüberschwemmung gemachten Ausführungen hingewiesen.

Wir müssen somit bei Umsetzung von Kochsalz und kohlensaurem Kalk unter Mitwirkung von Kohlensäure im Boden arider Gegenden nur mit einer sehr wenig hervortretenden Alkalität der Bodenlösung zu rechnen haben, so lange Kochsalz in hohen Konzentrationen vorhanden ist. Auch würde immerhin bei der Umsetzung: Kochsalz mit kohlensaurem Kalk und Kohlensäure zu Soda, Chlorkalzium und Kohlensäure, wie wir der Gleichmäßigkeit halber sagen wollen, früher oder später ein Gleichgewichtszustand erreicht werden müssen, denn die beiden Reaktionsprodukte bei der Umsetzung, Soda und Chlorkalzium, sind fast in jeder Menge wasserlöslich, und werden bei Steigen ihrer Konzentration in der Bodenlösung den Vorgang zum Stillstand bzw. zur Umkehrung bringen.

Die eigentlich gefahrdrohende Bildung von Soda wird daher durch Umsetzung nicht der Chloride, sondern der Sulfate mit kohlensaurem Kalk bei Gegenwart von Kohlensäure, welche stärkere Konzentration des Kalkkarbonats in der Bodenlösung ermöglicht, bedingt.

Daß auch hier die mehrfach erwähnte Umsetzung unter Bildung von Soda eintreten muß, ist ohne weiteres aus dem Massenwirkungsgesetz abzuleiten, aber außerdem auch durch Untersuchungen von E. W. Hilgard und seinen Mitarbeitern bewiesen, die dabei für die Tatsache selbst auf Feststellungen von R. Brandes[2]) und besonders Al. Müller[3]) zurückgreifen konnten,[4]) welch letzterer den Vorgang schon genau feststellte. S. Tanatar hat später diese Frage noch weiter

[1]) Mitteilg. Bur. Ackerbau u. Bodenk. Gelehrtenkomitee Hauptverw. Landorgan. u. Landw. **8**, 54 (1912).

[2]) Vgl. R. Brandes, Schweigg. Journ. **46**, 403 (1826). Weiter brachte auch schon C. Sprengel, Urbarmach. Grundverb. (1838) 209, Hinweise auf die Bildung von Soda durch Kalkkarbonat und Kochsalz im Boden, und ebenso lange vor beiden Cl. L. Berthollet, vgl. G. J. Mulder Chem. d. Ackerkrume, übers. J. Müller, **1**, 421 (Berlin 1863).

[3]) Al. Müller, Journ. prakt. Chem. **82**, 53 (1861).

[4]) Al. Müller, Ber. Deutsch. chem. Ges. **25** (2), 3624 (1892).

untersucht,[1]) ohne wesentlich andere Schlüsse zu erhalten als E. W. Hilgard. Auch C. Ochsenius wies auf diese Verhältnisse hin,[2]) ebenso G. Lunge[3]) und N. A. Bogoslowsky.[4])

Es wird demnach unter Einfluß der Bodenkohlensäure sich kohlensaurer Kalk in der Bodenlösung stärker lösen und nun mit den darin vorhandenen Alkalisulfaten kohlensaures Alkali und schwefelsauren Kalk, Gips, bilden. Dieser ist aber an sich nur mäßig in Wasser löslich — zu 0,202% des wasserfreien Salzes bei 18°,[5]) — weiterhin wird seine Löslichkeit durch das Vorhandensein der Sulfationen in der Lösung noch weiter zurückgedrängt, da ja gleichionige Salze allgemein die Löslichkeit vermindern.[6]) In gleicher Weise dürfte das Kalziumbikarbonat wirken.[7]) Und endlich steigt die Löslichkeit des Gipses in Wasser nicht annähernd so stark mit zunehmender Temperatur, wie die Löslichkeit des Glaubersalzes, des Natriumsulfats.[8]) Da wir weiter auch mit einer Steigerung der Löslichkeit des kohlensauren Kalks bei Wärmeerhöhung insofern zu rechnen haben, als bei höherer Temperatur im Boden mehr Kohlensäure gebildet wird, wenigstens bis zu einer gewissen Grenze, so wird, zumal bei zunehmender Wärme, Gips zur Ausscheidung kommen und demnach eine Konzentrationserhöhung dieses Faktors ausgeschlossen sein. Es muß der Vorgang also weiter nach der gleichen Richtung verlaufen und sich mehr und mehr Soda und Gips, der zur Ausscheidung kommt, bilden. S. Tanatar hat zwar darauf aufmerksam gemacht,[9]) daß Gips sehr zur Bildung übersättigter Lösungen neigt, doch dürfte eine solche in der Bodenlösung doch bei weitem nicht so leicht eintreten wie etwa in reiner Flüssigkeit. Eher mag der Umstand zu beachten sein, daß Gips in kochsalzhaltigem Wasser vermehrt löslich ist,

[1]) S. Tanatar, ebendort **29**, 1034 (1896). Ältere Literatur ist noch bei J. Roth, Allgem. u. chem. Geologie **1**, 463, 486, 488 (1879) zu vergleichen. Weiter in Sell, Amer. Journ. **28**, 174 u. 365 (1895): Arbeit. v. T. Sterry Hunt.

[2]) C. Ochsenius, Zeitschr. prakt. Geol. 1893, 61 u. 65; Blankenhorn, Zeitschr. geolog. Gesellsch. **53**, H. 3 (1902).

[3]) G. Lunge, Zeitschr. angew. Chem. 1893, 3. Man vergleiche auch S. Passarge, Kalahari (Berlin 1904) 620.

[4]) Angeführt nach P. Kossowitsch, Journ. exp. Ldw. **4**, 52 (1903).

[5]) V. Rothmund, Löslichk. Löslichkeitsbeeinfl. (Leipzig 1907) 125.

[6]) Ebendort 167—168. Ausnahmen bei W. K. Lewis, Inauguraldissertation (Breslau 1908) 50.

[7]) Vgl. S. Tanatar, Ber. Deutsch. chem. Ges. **29**, 1037 (1896).

[8]) V. Rothmund, a. a. O. 95 u. 97.

[9]) S. Tanatar, Ber. Deutsch. chem. Ges. **29**, 1035 (1896).

was theoretisch ja zu erwarten ist und von D. J. Hissink auch experimentell bestätigt wurde.[1]) In stärker verdünnten Lösungen verläuft nach E. W. Hilgard der in Frage stehende Vorgang der Umsetzung von Kalziumkarbonat und Natronsulfat zu Soda und Gips nahezu quantitativ.[2]) In konzentrierten dagegen, wie wir sie im Boden arider Gegenden wohl häufiger vorfinden werden, wird sich auch das Natriumsulfat in ähnlicher Richtung nach der Seite einer Erhöhung der Azidität betätigen, wie das im Anschluß an G. Bodländer und P. Breuell vorher für das Kochsalz geschildert worden ist. Allerdings muß das Natriumsulfat in der erwähnten Richtung schon nennenswert schwächer wirken, als Kochsalz, weil die Schwefelsäure bereits merklich schwächer elektrolytisch gespalten ist,[3]) als die Salzsäure, über die dort gesprochen wurde.

Wir haben somit bei stärkeren Natriumsulfatkonzentrationen noch eine gewisse Herabminderung der Alkaleszenz zu erwarten, ohne daß hierdurch das Auftreten von Hydroxylionen in ähnlichem Maße beeinflußt würde, wie bei den entsprechenden Umsetzungen mit Kochsalz. — Die Umsetzung mit kohlensaurem Kalk bei Gegenwart von Kohlensäure wird daher in erheblichem Umfange zu Soda[4]) und Gips führen. Im Boden wird der ausgeschiedene Gips natürlich sich auch nicht als feinstes Pulver absetzen, das nachher wieder verhältnismäßig leicht löslich ist, sondern er wird je nach den vorhandenen Bedingungen Krusten um Bodenbestandteile oder auch allmählich wachsende Kristalle[5]) bilden, die nachher nur verhältnismäßig schwer wieder löslich sind.[6]) Dadurch wird auch bei späterem gelegentlichen Mangel an Kohlensäure und dementsprechend an kohlensaurem Kalk in der Bodenlösung der umgekehrte

[1]) D. J. Hissink, Chem. Weekblad **3**, 395 (1906).

[2]) E. W. Hilgard, Ber. Deutsch. chem. Ges. **25** (2), 3626 (1892). W. F. Sutherst erhielt allerdings abweichende Ergebnisse; vgl. Chem. Centr. **81** (4), 1402 (1910).

[3]) Vgl. z. B. W. Nernst, Theoret. Chemie, 5. Aufl. (1907) 503; Wi. Ostwald, Grundlin. Anorg. Chem., 2. Aufl. (1904) 252.

[4]) Es ist hier stets im Anschluß an den Sprachgebrauch und die Ausdrucksweise der bisher mit diesen Fragen beschäftigten Forscher immer von Soda die Rede, obwohl man auch der Entstehung von Natriumbikarbonat weitgehend Rechnung tragen müßte. Erst dieses zerfällt zu einem, wohl nicht einmal großen Teil zu Soda und freier Kohlensäure, sowie Wasser. Es ist der Einfachheit halber die ungenauere Ausdrucksweise beibehalten.

[5]) Vgl. u. a. A. A. J. von 'Sigmond, Internat. Mittlg. Bodenk. **1**, 53 (1911).

[6]) Gerade beim Gips beobachtete G. Hulett, daß feinste Teilchen gegenüber groben Brocken eine um $5^1/_2$% höhere Löslichkeit aufweisen. Vgl. Zeitschr. physik. Chem. **37**, 395, 406 (1901).

Vorgang der Rückwandlung der Soda und des Gipses in Natriumsulfat und Kalziumkarbonat verzögert.

Aber auch durch teilweises Ausscheiden der Soda aus dem Reaktionsgleichgewicht kann im Boden der Umsetzungsvorgang noch nach der Richtung einer vermehrten Sodabildung beeinflußt werden. Das kohlensaure Natrium bildet nämlich mit den Humussubstanzen des Bodens, indem es sie löst, zum Teil humussaures Natrium, was schon von E. W. Hilgard beobachtet wurde,[1]) und die amerikanische Bezeichnung solcher Vorfälle in der Natur als „Schwarz-Alkali" herbeiführte.[2]) Die Bodenhumussubstanz bildet mit der Soda nämlich eine tintenschwarze Lösung, die besonders, wenn sie an der Oberfläche verdunstet ist und dort schwarze Flecke bildet, zur Entstehung des volkstümlichen Namens Ursache gab. Ja, auch beim Austrocknen scheint sich die Soda mehr nach oben dem Reaktionsgleichgewicht zu entziehen, wenigstens beobachtete E. W. Hilgard, daß die Kochsalzkristalle im Boden, die Sodakristalle aber auf dessen Oberfläche sich ausscheiden, was natürlich mit den Löslichkeitsverhältnissen zusammenhängt. Bei Verwitterung der oben aufliegenden Kristalle zerfallen diese nun zu Staub und werden vom Winde verweht.[3]) Ganz entgegengesetzte Mitteilungen bringt dagegen N. N. Stepanow:[4]) „In ein und derselben Bodenschicht kann hohe Alkalität nicht zusammen mit Gips existieren. Gewöhnlich liegt die Schicht der größten Alkalität (der Soda) bedeutend tiefer als die gipsführende Schicht. Zwischen ihnen liegt die Schicht, in welcher größere Mengen von schwefelsaurem Natron, dem Produkt der Wechselwirkung zwischen Gips und Soda, angesammelt werden." — Offenbar ist es noch nicht möglich, den verschiedenen, in der Natur vorkommenden Wechselfällen durch ausreichende Erklärung gerecht zu werden. Vielleicht wär in dem von Stepanow geschilderten Fall gerade durch größere Niederschläge die Soda in die Tiefe gewaschen, während der Gips, da zum größten Teil unlöslich, ihr natürlich nicht folgen konnte.

So tritt unter den erwähnten Bedingungen eine ganz erhebliche

[1]) E. W. Hilgard, a. a. O. 3628.

[2]) Ähnlich wird in Arabien der gleiche Naturvorgang „Kara" genannt. Vgl. E. W. Hilgard, Soils (Neuyork 1906) 78; weiter: derselbe, Ber. Deutsch. chem. Ges. **25** (2), 3628 (1892).

[3]) E. W. Hilgard, Forsch. Geb. Agrikulturphysik **19**, 31 (1896). Sostegni fand — zit. Zentralbl. Agrikulturchem. **18**, 371 (1899) — bei Versuchen über die kapillare Hebung von wäßrigen Lösungen im Ackerboden, daß der Reihe nach in dem gehobenen Wasser auftraten: Karbonate, Sulfate, Chloride, Nitrate.

[4]) N. N. Stepanow, Journ. exp. Ldw. **6**, 300 (1905).

Bildung von Soda im Erdboden auf. Daß nicht nur der kohlensaure Kalk, sondern auch andere kohlensaure Erdalkalien unter Umständen hierzu beitragen können, liegt nahe. So ist das für Magnesiumkarbonat von E. W Hilgard auch durch den Versuch erwiesen worden.[1]) Und was die entstehenden Mengen von Soda anbelangt, so zeigen Untersuchungen der in Kalifornien aus dem Boden ausgewitterten Salze, wie hoch in ihnen der Anteil der Soda steigen kann. E.W. Hilgard ermittelte in Salzauswitterungen aus dem San Joaquintal in Kalifornien 27, ja 40% Soda.[2]) In indischem „Reh", aus dem mit Ausblühungen bedeckten Boden ausgezogenen Salzen, fand E. G. Hill sogar zwischen 90 und 95% Soda.[3])

Natürlich wird der Sodagehalt im Boden selbst nicht derart hoch steigen. Dies ist aber auch gar nicht erforderlich, damit die weitestgehenden Veränderungen des Bodens eintreten und ein Pflanzenwachstum mehr oder weniger unmöglich machen. Hierzu reichen schon ganz erheblich niedrigere Sodagehalte aus. Angaben über die Gefahrgrenze des Sodagehaltes in Böden, die aber nur lokal maßgebend sein dürften, finden wir bei F. W. Traphagen.[4]) Er setzt sie auf 1% an, was gewiß noch erheblich zu hoch ist.[5]) Wenigstens ermittelte B. Skalow einen schädlichen Einfluß der Alkalität für Weizen schon bei einem Gehalt im Boden von 0,005 bis 0,006%.[6])

Es ist wieder E. W. Hilgard, der auf die so sehr starke Schädigung der physikalischen Bodenbeschaffenheit durch die Sodabildung im Boden hinwies.[7]) Die Zerstörung der Krümel des Bodens geht vereint mit anderer Schädigung zuweilen dabei so weit, daß er zu jeder Beackerung unfähig wird.[8])

Daß wieder die schon mehrfach behandelte Einwirkung der Soda auf die Bodenkolloide, sowohl Humussubstanz wie Tonkolloid und feinste Aufschwemmungen, den maßgebenden Umstand bei dieser Schädigung darstellt, erhellt besonders aus der Beobachtung, daß die Schädigung durch Soda in den dichten, bündigen Böden,[9]) die also kolloidreich sind, die erheblichste ist.[10]) Wie auch andererseits die Gegenwart von viel

[1]) E. W. Hilgard, Ber. Deutsch. chem. Ges. **25**, (2) 3630 (1892).

[2]) Ebendort 3629.

[3]) E. G. Hill, Chem. Centr. **74**, (1) 987 (1903).

[4]) F. W. Traphagen, Montana Stat. Bull. **54**, 91.

[5]) Für Wald soll die Gefahrengrenze sich auf 0,05% Soda stellen. N. N. Stepanow, Journ. exp. Landw. **6**, 300 (1905).

[6]) B. Skalow, Journ. exp. Ldw. **9**, 360 (1908).

[7]) E. W. Hilgard, Exper. Stat. Record **11**, 717 (1900).

[8]) E. W. Hilgard, Ber. Deutsch. chem. Ges. **25** (2), 3628 (1892).

[9]) Den nordamerikanischen „Adobe"böden.

[10]) E. W. Hilgard, Forsch. Geb. Agrikulturphysik **16**, 128 (1893).

Humussubstanz, da durch sie viel Kohlensäure gebildet wird, wieder auf vermehrtes Entstehen der Soda hinzuwirken vermag.[1]) Hier liegt auch die Erklärung[2]) dafür, daß warme Gegenden im allgemeinen die Bildung der Soda begünstigen,[3]) da höhere Temperaturen unter anderem auf eine vermehrte Kohlensäureentwicklung aus der sich zersetzenden Humussubstanz hinwirken, wie bereits E. Wollny[4]) durch Versuche feststellte. Auch die Steigerung der Ionisierung des Wassers und damit der Hydrolyse mit der Temperatur wird eine Rolle spielen. — Wie sich der Einfluß der Alkalikarbonate auf Ton und tonige Erdböden darstellt, sei hier noch einmal hervorgehoben und zwar jetzt im Anschluß an E. W. Hilgard. Dieser ermittelt,[5]) daß „die erwähnten Salze schon in sehr verdünnter Lösung (0,01—0,05%) die flockigen Teile zerstören, die bei Fällung durch Neutralsalze oder Säuren entstanden sind, oder im Boden von Natur existieren. Sie wirken auf die Verschlämmung des Bodens hin, so daß dieser für Wasser undurchlässig[6]) wird". In durch Schwarzalkali verdorbene bündige Böden „vermag weder Spaten noch Pflug einzudringen; der Karst bringt mit Mühe große Erdklötze zum Vorschein, die dem Zerschlagen hartnäckig widerstehen und an der Sonne steinhart austrocknen. Es ist unmöglich, durch die beste Bestellung auch nur entfernt eine Kulturschicht, die man als Ackerkrume bezeichnen könnte, hervorzubringen; man erzeugt nur rundliche Schollen, etwa bis zur Erbsengröße hinab, die man wohl durch weitere Bearbeitung polieren kann, die aber keine Spur von Krümelstruktur annehmen; der Unterschied in dem Verhalten gegenüber normalem Boden ist augenscheinlich der Wirkung des Alkalikarbonats zuzuschreiben, welches den Boden so vollständig verpuddelt,[7]) daß er in nassem Zustande direkt für die Töpferscheibe, in trockenem zu Pflastersteinen passend erscheint."[8]) Auch P. Kossowitsch spricht von der „extremen Härte" des Alkalibodens in trockenem Zustande.[9]) Ähnlich beschreibt A. A. J. v. 'Sigmond[10]) die

---

[1]) Hierzu ist vielleicht auch G. Schweinfurth und C. Lewin, Zeitschr. Ges. Erdkunde (1898) 1, zu vergleichen.

[2]) Vgl. Börnstein-Roth, Physikal. chem. Tabell., 1912, 1187.

[3]) E. W. Hilgard, a. a. O. 158.

[4]) E. Wollny, Zersetz. organ. Stoffe (Heidelberg 1897) 122.

[5]) E. W. Hilgard, Soils (New York 1906) 62.

[6]) So auch N. N. Stepanow, Journ. exp. Ldw. **4**, 692 (1903).

[7]) Nach dem Englischen „to puddle" gleich „verschlämmen".

[8]) E. W. Hilgard, Forsch. Geb. Agrikulturphysik **16**, 164 (1893).

[9]) P. Kossowitsch, Journ. exp. Ldw. **4**, 51/52 (1903).

[10]) A. A. J. von 'Sigmond, Wiener landw. Ztg. **55**, Nr. 70, 62 (1905). Derselbe auch in Internat. Mitteil. Bodenk. **1**, 56 (1911).

Alkaliböden Ungarns: „Charakteristisch für sie ist die Krustenbildung. Die Krusten bestehen aus feinem Schlamm und Sand und verschließen die Kapillarräume der Bodenoberfläche.“ — Wahrscheinlich steigen die durch Soda in den Solzustand übergeführten Bodenkolloide durch den Hub des verdunstenden Wassers nach oben,[1] so daß hier eine Verschlämmung nach oben stattfände, worauf u. a. auch F. F. Matenaers-H. W. Campbell hingewiesen haben.[2] Eine solche Verschlämmung nach oben muß durch den Umstand, daß auf den weitgehend benachteiligten Stellen die Vegetation fehlt, stark gefördert werden. Denn der gerade für die obersten Schichten bedeutungsvolle Schutz vor der Sonne fällt damit fort. — H. Puchner teilt hierzu noch mit:[3] „Beim Aufsteigen des Wassers trachten alle Salze nach der Bodenoberfläche hin, die einen ‚klettern‘ rascher, die andern langsamer, und auf diese Weise geht eine Sonderung der Salze in die einzelnen Bodenschichten vor sich. In den untersten Schichten, in denen das Aufsteigen des Wassers am längsten und am wirksamsten stattfindet, sind fast gar keine Salze mehr vorhanden.“ — Für Alkaliböden wird natürlich durch gelegentliche Regenfälle eine vorübergehende Umänderung eintreten. v. ’Sigmond fährt noch fort: „Diese Bodenart ist niemals krümlig. Ist sie naß, so zerfließt sie, ist sie trocken, dann ist sie steinhart.“

Die ungünstige Wirkung der Soda und des von ihr gelösten Humus auf die Bodenkolloide, trotz vorhandener Kalksalze und ihrer Gegenwirkung, vereint mit dem geringen Regenfall arider Gegenden, bringt nun außer dem Verschwinden der Krümel des Bodens und dem Zusammenfließen desselben zum Zustande der Einzelkornstruktur noch eine weitere Schädigung der physikalischen Bodenbeschaffenheit mit sich. Es bildet sich in größerer oder geringerer Tiefe eine verhärtete Bodenschicht, die, obwohl gänzlich anderer Entstehung, doch in vielem mit dem Ortstein unserer Heideländereien Norddeutschlands verglichen werden kann. Sowohl in Sandböden, wo die feinsten Bodenteilchen beim Übergang in den Solzustand besonders leicht in die Tiefe geführt werden, wie in bündigen Tonböden und vor allem in feinpulverigen, an sehr feinen

[1]) Einige Zahlenangaben über die Fortführung feiner Schlammteilchen durch bewegtes Wasser bei A. Rühl, Veröffentl. Instit. Meereskunde **8**, 15 u. f., bes. 16 unten (Berlin 1906).

[2]) F. F. Matenaers-H. W. Campbell, Anleit. zweckmäß. Bodenbearb. (Berlin 1909), 2. Aufl., 52.

[3]) H. Puchner, Forsch. Geb. Agrikulturphysik **18**, 11—12 (1895); besonders aber Koll.-Zeitschr. **17**, 122 (1915).

Sanden reichen Erden findet sich unter dem Einfluß der Soda diese Schädigung in weiter Verbreitung.[1]

Die Ursache liegt nahe. Durch die alkalische Beschaffenheit der sodahaltigen Bodenlösung werden die Bodenkrümel zerstört, da die sie sonst zusammenhaltenden und festigenden Kolloide in den Solzustand übergehen und überhaupt das Hydroxylion bei Adsorption auf sämtliche negativ geladenen Bodenkolloide verteilend wirkt. Während die gröberen Bodenbestandteile sich nun in feuchtem Zustand eng zusammenlagern, versinken die Bodenkolloide in größerem Umfange mit der Feuchtigkeit in den Boden hinab. Jeder neue Regenguß läßt sie derart tiefer wandern. Da aber die Regenmengen an sich gering sind, so wird je nach dem Klima in verschiedener Tiefe die Hinabwanderung dieser feinsten Bodenteilchen aufhören und hier eine Ansammlung derselben stattfinden. Nicht nur Tonkolloid, sondern auch feinste Sande und endlich auch Humussubstanz sinkt so bis zu der Tiefe in den Boden, zu deren Erreichung die stärksten Regenfälle ausreichen, und nimmt hier an der Bildung der verhärteten[2] Schicht, des „Hardpans", Anteil.[3] Es kommt dabei noch hinzu, daß in den tieferen Schichten des Bodens sowohl Kohlensäure wie Feuchtigkeit länger vorhält, und daher wohl die oben eingehend besprochene Bildung von Soda durch Umsetzung in weiterem Umfange von statten gehen kann, worauf russische Forscher hinweisen, die überhaupt die Bildung der Soda hauptsächlich in die tieferen Bodenschichten verlegen, so K. Glinka,[4] wie auch N. N. Stepanow.[5]

Die sich so unter Herrschaft alkalischer Reaktion bildende verhärtete Schicht — unser Ortstein entsteht im Gegensatz dazu bei durch Humussäuren hervorgerufener saurer Reaktion der Bodenflüssigkeit — bildet eine durchaus wasserdichte Sohle,[6] die man gelegentlich zu Drä-

[1]) E. W. Hilgard, Forsch. Geb. Agrikulturphysik **16**, 164 (1893); ebenso dort 117.

[2]) Die Verhärtung geht nach E. W. Hilgard, Soils (New York 1906) 62, so weit, daß die Schicht sogar mit dem Schmiedehammer schwer zu brechen ist.

[3]) E. W. Hilgard, Soils (Neuyork 1906) 454. Weiter: derselbe, Forsch. Geb. Agrikulturphysik **19**, 23 (1896). Analysen, welche die Durchschlämmung feinster Teilchen in die Tiefe der Alkaliböden kennzeichnen, bei K. Glinka, Typen d. Bodenbildg. (Berlin 1914) 197; ähnliche Hinweise bei N. N. Stepanow, Journ. exp. Ldw. a. a. O.; C. Juritz, Stud. Agric. Soils South Africa, 200 (Pretoria 1910).

[4]) K. Glinka, Typen d. Bodenbildg. (Berlin 1914) 197.

[5]) N. N. Stepanow, Journ. exp. Ldw. **6**, 300 (1905).

[6]) Bildung wasserundurchlässiger Schichten erwähnt auch A. A. J. v. 'Sigmond für ungarische Alkaliböden, Wiener landw. Ztg. **55**, 628 (1905).

nagezwecken durchbohrt. Es ist sehr auffallend und weist auf den inneren Zusammenhang der Schädigungen durch Meerwasserüberschwemmung und durch Sodabildung hin, daß Adolf Mayer auf meerwassergeschädigtem Lande gleichfalls in solcher Weise durch senkrechte Dränage Erfolge zu erzielen suchte und auch erzielte.[1])

Die soeben erwähnten verfestigten Bodenschichten der Alkaliländer erfahren übrigens eine Verkittung auch noch durch Ausscheidungen von kohlensaurem Kalk in der Tiefe;[2]) denn nicht nur Bodenkolloide führt das hinabsinkende Regenwasser mit sich in die tieferen Schichten des Landes, sondern auch z. B. gelösten, aus der Oberkrume ausgelaugten Kalk, wie solche unterirdischen Kalkbänke sich auch bei anderen Gelegenheiten bilden, wenn die Auswaschung nicht bis zum Grundwasser geht, so z. B. beim Pampaslöß[3]) und der Schwarzerde.[4]) Mit dem Verschwinden des Wassers scheidet er sich dann in der Tiefe aus,[5]) während die leichter löslichen Salze in vermehrtem Umfange durch die Kapillarwirkung wieder an die Oberfläche gehoben werden. Diese Kalktuffverkittung scheint übrigens in der Regel nur nebensächlich neben die Bildung der verhärteten Schicht zu treten, hindert jedenfalls deren Lockerung und Beseitigung durch zweckmäßige Kulturmaßnahmen nicht.[6]) — Russische Forscher haben besonders auf die Bildung gewisser auffallender Schichten im Schwarzalkaliland hingewiesen. Oben liegt eine, bei Mangel an Vegetation oft mit kennzeichnender, hellgrauer Kruste bedeckte aschgraue, oft poröse Schicht. Dann kommt die sehr harte, dunkel schwarzbraune Lage des eigentlich physikalisch geschädigten Bodens, die in verhältnismäßig kleine, palisadenförmige, scharfkantige Klümpchen mit glänzender, dunkler Oberfläche zerfällt. Unter ihr liegt das braungelbe oder gelbe Muttergestein. So stellen sich die Verhältnisse beim „nassen" Schwarzalkali dar. Beim „trockenen" ist die braunschwarze Schicht sehr fest und zerfällt beim Zerbrechen in größere, würfelförmige Körner mit fast glänzender Oberfläche.[7]) — Endlich mag der Umstand, daß vielfach die Kiesel-

---

[1]) A. Mayer, Journ. Landw. **27**, 392 u. 405 (1879).

[2]) P. Kossowitsch, Journ. exp. Ldw. **4**, 54 (1903).

[3]) Ameghiano und Früh, Lehmann-Nitsche, nouv. récherches format. pampéenne, Revist. Mus. de la Plata **14**, 143 (1907). Durch Entkalkung des Pampaslöß bilden sich zunächst Lößkindel, die besonders in größeren Tiefen zu beträchtlicher Ausdehnung anwachsen und sich zu regelrechten Kalkbänken anhäufen.

[4]) Die sogenannte „Weißäugleinschicht" der Schwarzerde, P. Kossowitsch, Schwarzerde (Berlin 1912) 88 u. f.

[5]) E. W. Hilgard, Forsch. Geb. Agrikulturphysik **16**, 116, 167 (1893).

[6]) E. W. Hilgard, ebendort 169.

[7]) P. Kossowitsch, Journ. exp. Ldw. **4**, 54/55 (1903).

säure des Bodens mehr oder weniger leicht in Soda löslich ist,[1]) auch noch bei der Bodenschädigung in der hier behandelten Richtung eine Rolle spielen.

Innerhalb Europas finden sich, wie erwähnt, derart schädliche Soda-anhäufungen auf Kulturland besonders in Ungarn,[2]) Spanien, wie in manchen Gegenden des europäischen Rußlands. Für Deutschlands Landwirtschaft haben sie wohl noch keine Rolle gespielt und werden eine solche auch kaum zu übernehmen vermögen, wenn wir dabei nur die Verhältnisse in der Praxis im Auge haben. Dagegen ist für Gefäßkulturen, besonders auf adsorptionsschwachen Böden, also überhaupt für wissenschaftliche Untersuchungen, wie auch für die Düngung von Zimmerpflanzen wohl zu beachten, daß sich die Bedingungen, unter denen sich nach den soeben gegebenen Ausführungen im Boden Soda zu bilden vermag, auch nicht selten im stark gedüngten und mit Pflanzen bestandenen Versuchsgefäß ergeben können. Ganz besonders werden dann alkaliempfindliche Pflanzen leiden und dies mag auch ein Grund dafür sein, daß z. B. gelbe Lupinen in Vegetationsgefäßen gegen Kalk noch empfindlicher werden, wenn gleichzeitig anderweitige Alkalisalzgaben in größerer Menge hinzutreten.

b) Heilmittel.

Auch die Frage nach der Beseitigung der ungünstigen Wirkungen auf den Boden, die zu nicht geringem Teile als auf dem Gebiet der Bodenkolloide liegend von uns erkannt wurden, bringt uns manchen interessanten Umstand.

Vielleicht ist noch nachzuholen, daß die eine Bildung von „Schwarzalkali" aufweisenden Bodenstellen[3]) zumeist gegenüber dem übrigen Lande eingesunken erscheinen.[4]) Das ist sehr leicht erklärlich, da eben

---

[1]) Vgl. z. B. T. Nakamura, Landw. Jahrb. **34**, 141 (1905). W. Frear und C. B. Beistle, Journ. Amer. Chem. Soc. **25**, 5 (1905).

[2]) Vgl. z. B. A. von 'Sigmond, Wiener landw. Ztg. **55** Nr. 70, 628 (1905). Auch E. de Kvassay, Zentralbl. Agrikulturchemie **6**, 10 (1877); vgl. auch Th. Barrals Journ. d'agriculture **2**, 102 (1876); weiter: E. W. Hilgard, Forsch. Geb. Agrikulturphysik **16**, 143 (1893). Endlich P. Treitz, Földtani Köslöny **38**, 106 (1908) [in deutscher Sprache].

[3]) Daß für das fleckenweise Auftreten des Alkalis Unterschiede der physikalischen Bodenbeschaffenheit eine Rolle spielen, geben P. Kossowitsch und N. Tulaikow an. — Journ. exp. Landw. **6**, 677 (1915); **7**, 148 (1906). — Schwere Bodenstellen saugen nach ihnen aus sie umgebenden leichteren Feldteilen Wasser und Salze an sich.

[4]) E. W. Hilgard, Soils (New York 1906) 429. Vgl. auch bei Besprechung der Salpeter- und Kochsalzwirkung unten die entsprechenden Beobachtungen F. Wohltmanns in Bonn-Poppelsdorf.

hier die Krümelstruktur des Bodens völlig verloren gegangen ist und die einzelnen Bodenteilchen sich ganz eng aneinanderlagern, noch zusammengehalten von sodagelöster Humussubstanz.[1]) Sehr gut läßt sich dies auch durch den Versuch vorführen, wenn man von solchem Alkaliland durch Pflügen oder Zerstoßen einzelner Stücke erhaltene kleine Teilchen in einen Zylinder füllt und nun anfeuchtet. Der vorher locker aufeinanderliegende, trockene Boden sinkt dann ganz auffallend zusammen.[2]) — Um zur Verbesserung der Alkalischäden zurückzukehren, sei gesagt, daß man teils die schädlichen Salze aus dem Boden durch ausreichende[3]) Bewässerung und damit in Verbindung tretende Dränage[4]) herauszuwaschen sucht.[5]) Sehr wichtig ist dabei, daß die Bewässerung mit den erforderlichen Wassermengen durchgeführt und daß das salzgesättigte Wasser dann auch gut abgeleitet wird. Denn schwächere Bewässerung und Bewässerung ohne Abfluß machen das Übel nur noch schlimmer, wie man ohne weiteres denken kann. Das Wasser sinkt bis in eine gewisse Tiefe hinab, ohne abzufließen, und nimmt auch die Salze nur mit sich, um sie später, noch um die in der Tiefe dazu gelösten Salze vermehrt, durch kapillaren Aufstieg, wieder an die Oberfläche zu bringen.[6]) Ja, vielfach ist das Erscheinen der Versalzung des Landes erst eine Folge unvorsichtiger Bewässerung gewesen.[7])

Aber auch die Auswaschung bietet ihre Schwierigkeiten. Einmal ist der Boden ja fast wasserdicht verschlämmt und hindert so das Eindringen des Wassers.[8]) Erst bei weiterer Durchführung der Auslaugung des Schwarzalkalibodens steigt dessen Durchlässigkeit, wobei es hier unentschieden bleiben muß, ob das Wasser feinste Bodenteilchen mit sich

[1]) Ganz ähnlich dürfte durch das engere Sichaneinander-Legen der Bodenteilchen die Beobachtung von L. J. Briggs und M. L. Lapham zu erklären sein — U. S. Department of Agriculture, Bull. **16** —, wonach Sodalösung im Vergleich mit Neutralsalzlösungen gleicher Konzentration den kapillaren Anstieg des Wassers erhöht. E. W. Hilgard wies z. B. auch bereits bei der Besprechung der Sodaböden darauf hin, daß sie sich durch weitgehende Kapillarwirkungen auszeichnen. Vgl. Exp. Stat. Record **11**, 717 (1900).

[2]) E. W. Hilgard, Soils (New York 1906) 114.

[3]) E. W. Hilgard, California Agric. Exp. Stat., Bull. **128**.

[4]) Vgl. dazu u. a. F. K. Cameron, Journ. Amer. Chem. Soc. **28**, 1229 (1906).

[5]) B. C. Buffum, zit. nach Fortschr. Agrikulturchemie, **20** n. F. (**40**), 53 (1897); C. B. Lipman und L. T. Sharp, Univ. Calif. public. Agr. Science **1**, 275 (1915).

[6]) E. W. Hilgard, Forsch. Geb. Agrikulturphysik **16**, 161 (1893). P. Kossowitsch u. N. Tulaikow, Journ. exp. Landw. **7**, 147 (1906).

[7]) M. Whitney und Th. Means, U. S. Departm. Agricult., Bur. Soils, Bull. **14** (1898).

[8]) F. K. Cameron, zit. nach Fortschr. Agrikulturchemie **30**, n. F. (**50**), 56 (1907).

fortführt und so die Bodenporen erweitert, was wohl das Wahrscheinliche ist,[1]) oder ob andere Vorgänge in Frage kommen. Man könnte auch an Verschwinden der Soda und Hervortreten der Wirkung von Kalk denken, der unter der vermehrten Kohlensäurebildung nach Beseitigung der Hauptmenge der Soda auf Ausflockung der Bodenkolloide hinwirken muß.

Weiter soll nach F. K. Cameron und H. E. Patten[2]) die Fähigkeit der Böden, Basen zu binden, in alkalischer Lösung weitaus stärker sein, als in saurer oder neutraler Lösung,[3]) so daß auch hierdurch die Auswaschung verzögert werden würde.

Teils neben, teils ohne gleichzeitige Auslaugung der Salze hat man versucht, die Soda durch Umsetzung mit Gips in schwefelsaures Natron umzuwandeln und so einmal günstige Erfolge auch für die physikalische Bodenbeschaffenheit zu erzielen,[4]) wie auch die direkten Schädigungen der Pflanzen durch Soda — sie bestehen wesentlich in einer Anätzung der Wurzeln[5]) — zu beseitigen. Der Nutzen der Maßregel ist nicht nur häufig ein ganz erheblicher, sondern, was hier besonders wichtig ist, die ganze Veränderung des Bodens weist ganz schlagend darauf hin, daß der Erfolg wesentlich auf einer günstigen Beeinflussung der Bodenkolloide — im weiteren Sinne — beruht. E. W. Hilgard berichtet darüber:[6]) „Die chemische Wirkung des Gipses auf das Natronkarbonat, mit welchem er seine Bestandteile auswechselt[7]) und so dessen ätzende Wirkung auf die Pflanzen aufhebt, ist nur ein Teil der merkwürdigen Veränderung, welche derselbe in solchen Böden hervorbringt. Die physikalische Veränderung läßt sich in auffallender Weise dadurch zeigen, daß man einen der zähharten Erdklötze, welche etwa die Brechstange herausgebracht hat, mit Gipsmehl bestreut und dann benetzt. Nach kurzer Zeit — schon innerhalb einer halben Stunde — beginnt derselbe zu

[1]) Vgl. unten die Ausführungen bei Besprechung der Wirkungen des Chilesalpeters.

[2]) F. K. Cameron und H. E. Patten, Journ. Amer. Chem. Soc. **28**, 1639 (1906).

[3]) Ähnliche Beobachtungen sind auch sonst schon, wenn auch in geringerem Umfange, gemacht worden, vgl. G. Lemberg, Zeitschr. Deutsch. Geol. Ges. **37**, 975. 991 (1885); K. Blaschke, Inauguraldissertation (Breslau 1914), 29; A. Beutell und K. Blaschke, Zentralbl. Mineral. (1915) 143; weiter z. B. beim Permutit.

[4]) Vgl. z. B. G. S. Fraps, Texas Agricult. Exp. Stat. Bull. **130**, 9 (1910). Dort 29 auch weitere Literatur.

[5]) E. W. Hilgard, Proc. Soc. Prom. Agricult. Science (1898) 70. Derselbe auch in: Forsch. Geb. Agrikulturphysik **16**, 162 (1893).

[6]) Ebenda 165.

[7]) Tatsächlich fand N. Stepanow, Journ. exp. Landw. **11**, 74 (1910), in einem vergleichsweise mit Gips gedüngten Boden Sinken der Alkalität.

erweichen und sich abzukrümeln, und bei fortgesetzter Einwirkung ist er nach einigen Tagen zu einem Krümelhaufen zerfallen, der ein viel größeres Volum besitzt als der ursprüngliche Schollen. Man erkennt jetzt, warum die „schwarzen" Alkaliflecken vertiefte „Pockennarben" in der allgemeinen Oberfläche bilden: die völlige Zerstörung der Flockung bzw. Krümelstruktur normalen Bodens durch die Einwirkung des Natronkarbonats hat eine Volumverminderung zur Folge, die sich natürlicherweise durch ein „Setzen" der Oberfläche kundgeben muß. Durch bloße Behandlung mit Gips und Wasser schwellen oft diese vertieften Flecken nach und nach wieder zu der Höhe des nichtalkalischen Geländes auf;[1]) dies geschieht aber natürlich viel rascher, wenn man soviel als tunlich den Boden auflockert und so die Durchdringung fördert. Obenaufstehendes Wasser bleibt nun wegen der Niederschlagung der Humussubstanz völlig farblos, und nach vollendeter Umsetzung kann der Boden ohne weitere Schwierigkeit beackert werden, obgleich die Auflockerung noch mehrere Monate fortschreitet und auch noch längere Zeit sich verbessert, sofern nicht etwa durch das Aufsteigen alkalischen Grundwassers eine Gegenwirkung stattfindet."

Wir sehen hiernach, wie durch die mit dem Verschwinden des kohlensauren Natrons zur Geltung kommende Wirkung der Kalziumionen auf die feinen Bodenteilchen mehr und mehr an Stelle der den Solzustand kennzeichnenden, äußerst dichten Lagerung, die noch durch das humussaure Alkali verstärkt war, eine Krümelbildung einsetzt, und so der Zustand der Ausflockung sich geltend macht.

Besonders wichtig erscheint der Hinweis E. W. Hilgards, daß die vertieften Alkaliflecken, die „Pockennarben", teilweise durch bloßes Bestreuen mit Gips und Anfeuchtung wieder zu der Höhe des umgebenden nichtalkalischen Geländes, die sie ursprünglich auch besaßen, anschwellen. Hier haben wir einen schlagenden Beweis dafür, daß die Vorgänge der Ausflockung durch Kalksalze beim Boden nicht nur für in Wasser aufgerührte Trübungen, sondern wirklich für den Boden in seiner Lagerung draußen in der Natur maßgebend sind. Es ist an der Hand der von E. W. Hilgard festgestellten Ermittelungen, denen sich im Laufe der hier vorliegenden Ausführungen über die Bodenkolloide überhaupt noch manche anderen Beweisgründe anreihen dürften, meines Erachtens nicht angängig, den von A. Mitscherlich ausgesprochenen Satz als richtig anzuerkennen, daß „diese Erscheinung" (nämlich die Flockenbildung des

[1]) Von mir gesperrt.

Tons, die hier gewissermaßen als Vertreterin sämtlicher Eigenschaften der Kolloide angesehen werden mag), „bei unserem Kulturboden gar keine Rolle spielt, da bei diesem ganz andere Bedingungen vorliegen, als bei dem besprochenen Versuche, wo sich die Bodenteilchen unter Wasser befinden."[1]) Zudem hat A. Mitscherlich dafür, daß seine Ansicht nicht durchaus stichhaltig ist, selbst einen Beweis geliefert. Denn er hat ein Verfahren zur Beurteilung des Düngerbedürfnisses von Ackerböden empfohlen und ausgearbeitet, bei dem der Boden und die Löslichkeit seiner Pflanzennährstoffe in völlig in Wasser aufgeschwemmtem Zustande ermittelt wird.[2]) Man könnte auch hier mit seinen eigenen Worten darauf hinweisen, daß „bei unserem Kulturboden ganz andere Bedingungen vorliegen, als bei dem besprochenen Versuch, wo sich die Bodenteilchen unter Wasser befinden", wenn man eben diesem Einwand wirkliche Berechtigung zuerkennen wollte. Aber schon F. Schindler wies vor fast zwanzig Jahren darauf hin, daß Platzregen vermöge ihrer Stoßkraft ein Zerstieben der Bodenteilchen herbeiführen, „welche alsdann durch Wasser fein zerteilt, d. h. aufgeschlämmt werden", und jeder Praktiker weiß, wie oft gewöhnlicher Regen und Tauwetter ähnliche Bedingungen schafft. Der Theoretiker aber sagt sich, daß in den fast ständig vorhandenen Wasserhüllen der Bodenteilchen ebenfalls die Bedingungen für Aufschlämmung von Bodenkolloiden im weiteren Sinne gegeben sind. So gibt jüngst E. J. Russell[3]) folgende Ansicht: „Das Medium, in dem die Bodenorganismen leben, und welches in Berührung mit den Pflanzenwurzeln steht, wird von dem kolloiden Komplex organischer und anorganischer Verbindungen gebildet, der gewöhnlich mehr oder weniger mit Wasser, welches die Mineralteilchen umhüllt, gesättigt ist. Die Mineralteilchen dienen hauptsächlich als Gerüst für dies Medium." —

Wenn wir auf die Verwendung des Gipses zur Beseitigung der Alkalischädigungen zurückkommen, so dürfen wir nicht unbeachtet lassen, daß bereits E. W. Hilgard darauf hinwies, daß dies Mittel auch gelegentlich versagen kann.[4]) Auch A. A. J. v. 'Sigmond sah in Ungarn keine großen praktischen Erfolge durch Gipsbehandlung von Alkaliböden,[5]) während

---

[1]) A. Mitscherlich, Bodenkunde, 1. Aufl. (Berlin 1905) 149; ebenso auch noch 2. Aufl. (Berlin 1913) 101. Auf die oben angeführten Versuche E. W. Hilgards wurde von mir bereits in der Kolloid-Zeitschr. **3**, 198, Anmerk. 38 (1908) hingewiesen.

[2]) Vgl. z. B. A. Mitscherlich, Bodenkunde. 2. Aufl. (Berlin 1913) 182.

[3]) E. J. Russell-H. Brehm, Boden u. Pflanze (Dresden 1912) 150.

[4]) Zit. nach Exp. Stat. Record **11**, 717 (1900).

[5]) A. A. J. von 'Sigmond, Wiener landw. Ztg. **55**, 628 (1905).

wieder T. Takeuchi von Gips gute Wirkungen erwartet,[1]) und ebenso A. Goss und H. H. Griffin günstige Ergebnisse durch ihn sahen.[2]) Der Grund für diese wechselnden Erfolge kann ebenso in der Wahl der zunächst zum Anbau benutzten Pflanzensorte liegen — die Kulturpflanzen sind recht verschieden gegen Alkali empfindlich[3]) —, wie in besonderen Bodenverhältnissen oder in zu geringen Mengen des Heilmittels. Wenigstens geben C. H. Shinn und E. W. Hilgard an,[4]) daß bei sonstiger ausreichender Vorbereitung des Landes $2^1/_4$ Tonne Gips für den Morgen erforderlich sei, und nach R. Loughridges Feststellungen[5]) sind zwar theoretisch nur um ein Drittel größere Gaben an Gips notwendig, als der Sodagehalt des Landes beträgt, für praktische Erfolge jedoch die doppelte Menge. Außer Gips kommen aber auch noch andere Gegenmittel in Betracht.[6])

Ob übrigens nicht vielleicht die Anwendung von Chlorkalzium gegen Schwarzalkali wirksamer sein könnte als Gips, wäre wohl noch zu prüfen. Man möchte meinen, daß die Umsetzung mit Soda zu kohlensaurem Kalk und Kochsalz noch schneller und weitergehend ver-

[1]) T. Takeuchi, Bull. College Agricult. Tokyo **7**, 5 (1906).

[2]) A. Goss und H. H. Griffin, New Mexiko Stat., Bull. **22**, 21 (1898).

[3]) Vgl. z. B. C. Colemore und E. W. Hilgard, California Stat. Report (1893/94); H. C. Myers, zit. nach Chem. Centr. **74**, 2, 520 (1903); B. C. Buffum gibt an, daß Zuckerrüben und Weißklee am besten auf Alkaliböden fortkommen. Zit. nach: Fortschritte auf dem Gebiete der Agrikulturchemie **20** (des gesamten Werkes **40**), 53 (1897). Auch F. S. Harris, Journ. Agricult. Research **5**, 1 (1915), bringt Mitteilungen über die Widerstandsfähigkeit der Kulturpflanzen gegen Alkali, wobei Gerste, Hafer, Weizen, Luzerne, Zuckerrüben, Mais, kanadische Felderbsen am wenigsten empfindlich sind; in erster Linie widerstandsfähig ist die Gerste, welche nach J. Stocklasa und A. Ernest eine verhältnismäßig geringe Kohlensäureproduktion besitzt. — Vgl. unten 516. — L. Keller, Pédologie **16**, 11 (1914), findet einen gewissen Zusammenhang zwischen dem osmotischen Druck des Zellsafts der Pflanzen und der Art des Bodens, der sie trägt, wie derlei Ansichten ja schon früher für Wüstenpflanzen geäußert worden sind. Über die Empfindlichkeit von wilden Hölzern und Obstbäumen vgl. u. a. N. N. Stepanow, Journ. exp. Landw. **6**, 300 (1905); auch P. Kossowitsch, Journ. exp. Ldw. **4**, 43 (1903), macht dahingehende Mitteilungen, wonach die Eiche verhältnismäßig widerstandsfähig gegen Alkaliboden ist. Auch bei uns weiß man ja von ihr, daß sie verfestigte Bodenschichten am besten zu durchdringen vermag. Angaben über Obstbäume u. dgl. auch bei R. Loughridge, California Experiment Station, Bull. **128**, **133**, **140**.

[4]) C. H. Shinn und E. W Hilgard, California Stat. Report (1893/94).

[5]) Zit. nach Fortschr. Agrikulturchemie **21**, 43 (1898).

[6]) So nach E. W. Hilgard, California Agricult. Exp. Stat., Bull. **128**: Beschattung, Stalldünger, tiefes Pflügen, Beseitigung der Krusten, je nach den Verhältnissen des Einzelfalles; nach Ch. B. Lipman und L. T. Sharp Schwefelsäure, Eisensulfat, Stalldünger; (Univ. California Publ.) Agricult. Science **1**, 275 (1915).

laufen würde, besonders in der Kälte, wo Gips und Soda weniger kräftig[1]) miteinander reagieren. Diesbezügliche Versuche stehen aber meines Wissens noch aus. Da Chlorkalzium auch als Abfallprodukt für billigen Preis zu haben ist, ferner aber in Wasser gelöst auf den Boden verteilt werden kann, so könnten sich möglicherweise Vorteile[2]) bei seiner Anwendung herausstellen, zumal auch, wo Gips etwa nicht besonders billig und leicht zu erhalten ist. —

Ohne im allgemeinen unter „Alkaliböden" verstanden zu werden, müssen die von russischen Forschern unterschiedenen „graubraunen Steppenböden" ihnen nahestehen. P. Kossowitsch[3]) sagt von ihnen: „In den graubraunen Böden geht der Bodenbildungsvorgang bei deutlich alkalischer Reaktion in Gegenwart von kohlensauren und Humusverbindungen des Natriums vor sich, wodurch günstige Bedingungen für den Transport von Stoffen in kolloidem Zustande geschaffen werden. Eben in dieser Form werden das Eisenoxyd, die Tonerde und die feinsten Teilchen in den graubraunen Böden fortgeführt. Im ganzen ergreift aber der Auslaugungsvorgang in diesen Böden infolge der Unzulänglichkeit der in ihnen zirkulierenden Feuchtigkeit tiefere Schichten nicht." In Schwarzerdeböden herrschen nach P. Kossowitsch[3]) wegen stärkerer Auswaschung und wegen der Vegetationsdecke der Oberfläche weniger günstige Bedingungen für die Bildung von Alkali und damit für die Wanderung der Kolloide.

3. Verkieselung und anderes.

Im Anschluß an die bislang besprochenen Erscheinungen, die mit der Bildung von Soda im Boden eng zusammenhängen, ist noch einmal der Wirkung der Soda auf die Kieselsäure zu gedenken. Freilich werden die hier zu betrachtenden Tatsachen durchaus der geologischen Seite der Bodenkunde angehören und für die land- und forstwirtschaftliche Betrachtung der Bodenkolloide kaum heranzuziehen sein. Es ist nämlich anzunehmen, daß unter dem Einfluß der Soda Kieselsäure in erheblicher Menge löslich wird, um später, wenn die Gelegenheit hierfür günstig ist, in kolloider Form sich auszuscheiden und etwa vorhandene Sande zu verkitten. Solche Vorgänge werden heute noch in Wüstengegenden nicht selten sein. So hat S. Passarge in der Kalahari dahingehende Be-

[1]) S. Tanatar, Ber. Deutsch. chem. Ges. **29**, 1037 (1896).

[2]) Beim Gipsen schwarzer Alkaliböden vergehen nach E. W. Hilgard Wochen und zuweilen selbst Monate, ehe die alkalische Reaktion völlig beseitigt wird; Forsch. Geb. Agrikulturphysik **19**, 28 (1896).

[3]) P. Kossowitsch, Schwarzerde (Berlin 1912) 79.

obachtungen machen können.[1]) Auch E. W. Hilgard gibt solche Hinweise.[2]) Schon F. Senft wies weiter darauf hin,[3]) daß manche Sandsteine durch Kieselsäure verkittete Sande darstellen dürften, C. Bischof sprach der Verkieselung sogar größte Bedeutung zu,[4]) und W. Spring hat sich mit dieser Wirkung der kolloiden Kieselsäure eingehender beschäftigt.[5]) Auch an vielen anderen Orten wird der Verkieselung der Bestandteile des Sandsteins gedacht,[6]) obwohl nicht verkannt werden darf, daß auch andere Stoffe außer der Kieselsäure als Sandsteinbindemittel auftreten.[7]) Ob und wieweit außerdem alkaligelöste Kolloide noch auf kolloide Abscheidung anderer Stoffe hinzuwirken vermögen, wie P. Treitz[8]) das annimmt, sei hier nicht weiter geprüft.

Damit wären die Besprechungen der Salzwirkungen auf die Bodenkolloide, soweit solche ohne Zutun des Menschen eine Rolle spielen, beendet. Es ist zwar der Einflüsse des durch Kohlensäure im Bodenwasser gelösten kohlensauren Kalks auf die Bodenkolloide bislang immer nur beiläufig gedacht worden, und diese Art der Salzwirkung wäre wichtig genug, um hier eine besondere Besprechung zu rechtfertigen. Indes wird gerade die Lösung des Kalks im Bodenwasser durch so mannigfache Eingriffe des Menschen vermehrt, daß die ganze Frage besser unter den von Menschenhand herbeigeführten Veränderungen der Bodenkolloide besprochen werden dürfte. — Was die Roterden, z. B. die sogen. Terra rossa anbelangt, so ist es zwar sehr wahrscheinlich, daß auch bei ihr allerlei Kolloidwirkungen eine Rolle spielen und daß besonders dabei auch die Einflüsse des vorhandenen oder fehlenden kohlensauren Kalks, des Eisenhydroxyds, wie anderer Bodensalze bedeutungsvoll sind. Da indes bei diesem Problem nicht nur die experimentellen Untersuchungen unzureichend sind, sondern auch die Beobachtungen noch vielfach sehr unvollkommen erscheinen, sogar über die unter „Roterden" zu verstehenden Bodenarten noch allerlei Meinungsverschiedenheiten bzw. Unsicherheiten in der

---

[1]) S. Passarge, Die Kalahari (Berlin 1904), besonders 611 ff., weiter 616, 618, 627. Vgl. dazu besonders noch E. Kalkowsky, Abhandl. naturwiss. Ges. „Isis" Dresden, Jahrg. 1901, 67, 104—105 (1902).

[2]) E. W. Hilgard, Ber. Deutsch. chem. Ges. **25**, 3630 (1892).

[3]) F. Senft, Steinschutt u. Erdboden (Berlin 1867) 224.

[4]) C. Bischof, Chem. Geologie **3**, 37 (1863—1866).

[5]) W. Spring, zit. nach Neues Jahrb. Miner. **1**, Referate, 87 (1901).

[6]) Vgl. z. B. E. Blanck, Jahresh. Ver. vaterl. Naturk. Württemb. (1910) 464, 469.

[7]) Ebendort.

[8]) P. Treitz, Compt. rend. prem. conf. intern. agrogéolog. Sonderdr. (1909) 18.

Literatur vorkommen, so schien es richtig zu sein, die Würdigung der hierbei vorliegenden Kolloiderscheinungen einer hoffentlich später sich einmal anschließenden Neuauflage vorzubehalten. Auch ohne Heranziehung so wenig geklärter Fragen wird noch des Unbewiesenen genug in meinen Ausführungen vorhanden sein.

D. Pflanzen und Tiere.

1. Lebende und abgestorbene Pflanzen.

Die Einwirkungen der Pflanzen auf die Bodenkolloide sind zwar sehr mannigfaltig, doch wird es auch für sie ratsam sein, hier zumeist nur kurze Hinweise zu geben. Denn die Mehrzahl der durch wildwachsende Pflanzen auftretenden Erscheinungen findet sich, und zwar verstärkt, im Gefolge des Anbaues unserer Kulturpflanzen wieder, und muß daher im Anschluß an ihn Behandlung finden. Ebenso treten uns die Wirkungen der Kleinlebewesen auf die Bodenkolloide besonders deutlich beim Ackerbau gegenüber. Hier sei daher lediglich auf einige Besonderheiten eingegangen, die entweder nur durch wildwachsende Pflanzen hervorgerufen werden, oder sich wenigstens bei ihnen besonders deutlich zeigen.

a) Schutz vor Regen und Wind.

Zunächst ist hier die Schutzwirkung zu verzeichnen, welche die wilde Pflanzenwelt den feinen und feinsten Bodenteilchen gewährt, sie derart vor Weiterführung durch Regen oder auch Wind bewahrend.[1])

Wie wir bereits eingehend erfahren konnten, führt das Wasser teils mehr an der Oberfläche, teils auch in die Tiefe hinab die Bodenkolloide und ihnen nahestehende Bodenbestandteile mit sich, und beraubt so die oberen Bodenschichten derselben. Und ganz ähnlich vermag der Wind zu wirken, wenn der Boden wenig Feuchtigkeit aufweist. Wie verheerend und umfangreich diese Fortspülung der feinen Teile dort auftreten kann, wo die natürliche Pflanzendecke aus dem einen oder anderen Grunde beseitigt wurde, ist allbekannt. Auch J. A. Hensele, der die Wirkungen des Windes auf den Boden näher zu untersuchen bemüht war,[2]) sah die Erhaltung bzw. Schaffung einer Pflanzendecke als wichtigstes Mittel gegen Verwehungen der feinen Bodenteilchen an. Verödungen wie im Karst oder anderen Gebirgen, oder auf der Kurischen

[1]) Vgl. dazu u. a. E. Ebermayer, Naturforsch. **9**, 121 (1876).
[2]) J. A. Hensele, Forsch. Geb. Agrikulturphysik **16**, 364 (1893).

Nehrung sind die Folge der Pflanzenzerstörung und Waldverwüstung, und jahrzehntelange, mühselige Menschenarbeit vermag dann nur langsam und in beschränktem Maße wieder Besserung zu schaffen. Indes auch dort, wo die Schäden sich nicht derart auch dem wenig aufmerksamen Beschauer zeigen, ist langsam und unmerkbar der gleiche Vorgang der Wegschaffung der Bodenkolloide tätig, wenn die natürliche Pflanzendecke fehlt. Wir konnten oben erst z. B. feststellen, daß auf den Schwarzalkaliböden die Bodenkolloide in die Tiefe gewaschen werden, um hier verhärtete Schichten zu bilden. Wenn dafür auch der Alkaligehalt des Bodens haftbar zu machen ist, so wirkt dieser doch nicht nur derart, daß er die tonigen und Humusteile des Bodens verflüssigt und in Solform überführt, sondern auch so, daß er das Pflanzenwachstum beseitigt und den nackten Boden der Wirkung der[1]) Regenfälle aussetzt. — Im einzelnen ist zu erwähnen, daß der Pflanzenwuchs zunächst einen erheblichen Teil des Regenfalls überhaupt den Boden nicht erreichen läßt. Die Flüssigkeit benetzt die Blätter und Zweige und verdunstet von ihnen wieder.[2]) So glaubte C. E. Ney[3]) annehmen zu können, daß von den Niederschlägen eines Jahres, ohne den Boden berührt zu haben, verdunsten: bei Buche 15%, bei Kiefer 20%, bei Fichte 33,3%. Dabei ist zu beachten, daß die immergrünen wilden Gewächse des kühleren Klimas besonders stark den Schnee in der Luft festhalten.[4]) E. Hoppe setzt die durch Fichtenbestand am Herabsinken auf den Boden verhinderte Schneemenge auf rund 40% fest.[5]) Für die Beeinflussung der Bodenkolloide wird indes der Schneefall ohnehin weniger in Betracht kommen als der Regen, da die Prallwirkung bei ihm wegfällt, und allmähliches Forttauen, wie auch Frosthärte des Erdbodens die Bedeutung des Schneeschmelzwassers noch zu vermindern vermögen. Daher sei hier angegeben, daß nach A. Bühler[6]) das Laubdach der Buche im Sommer bis zu 38% des Regens festhält, die Fichte bei dichtem Schlusse dagegen 40—45%. Auch L. Fautrat, der zu etwas höheren Zahlen kam, schreibt der Fichte

[1]) In der ariden Klimaprovinz freilich spärlicheren . . . Bei humidem Klima vermag, wie schon oben dargelegt wurde, auch das auf nackten Erdboden auffallende Regenwasser allein die Bodenkolloide mehr oder weniger hinabzuspülen, „durchzuschlämmen"

[2]) Vgl. über Auffangen von Regen durch Pflanzen auch A. N. Lundström, Botan. Zentralbl. **44**, Nr. 12 u. 13 (1890); **45**, Nr. 1—3 (1891), wo weitere Literatur.

[3]) C. E. Ney, Forstwiss. Zentralbl. **23**, 448 (1901).

[4]) E. Ebermayer, Forsch. Geb. Agrikulturphysik **12**, 151 (1889).

[5]) E. Hoppe, Zentralbl. ges. Forstwes. **28**, 97 (1902).

[6]) A. Bühler, Mitteil. Schweiz. Zentralanst. forstl. Versuchsw. **2**, 142 (1892).

stärkere Wirkung zu.[1]) Es ist möglich, daß hierbei wegen der Versuchstechnik ein Teil des Wassers, das doch auch am Stamm entlang den Boden erreichte,[2]) nicht berücksichtigt ist. Das spielt für uns aber keine Rolle, da dies an Ästen und Stämmen entlang rieselnde Wasser keine Prallwirkung auf den Boden auszuüben vermag und wohl auch sonst weniger auf die Bodenkolloide wirkt, da es an den Wurzeln entlang in die Tiefe sinkt. Soweit Niederschläge aber auch durch den Pflanzenbestand hindurchgelangen, wird ihre Prallwirkung größtenteils beseitigt, auch die Tropfen durch Aufschlag auf Blätter und Zweige zerkleinert, zerstäubt sein,[3]) während freilich auch Vereinigung des von den Blättern ablaufenden Wassers zu größeren Tropfen möglich sein wird.[4])

Daß auch die krautigen Pflanzen, zumal unter ihnen die polsterbildenden, dem Erdboden sehr erhebliche Wassermengen vorenthalten und gleichfalls starken Schutz gegen den Tropfenschlag bieten, unterliegt keinem Zweifel. Auch die beschleunigende Wirkung des Windes auf den Regenfall und Anschlag der Tropfen fällt fort, wenn Pflanzen den Boden hoch oder niedrig bedecken.[5])

Diese Windwirkung führt uns zur Wirkung des Windes überhaupt bzw. zu dem ihr entgegenwirkenden Einfluß der Pflanzen. Wo durch Pflanzenwuchs die nötige Bodendeckung erfolgt, kann bei trockener Jahreszeit der Wind nicht Staub aufwirbeln und forttragen, bei feuchter aber nicht, wie schon erwähnt, den Regen oder Hagel gegen den Boden peitschen oder selbst in kleinen Pfützen und Rinnsalen Wellenschlag erzeugen, der die Bodenkrümel zermürbt, die Bodenkolloide aufschwemmt und löst, so daß sie leicht fortgeführt werden. Am schärfsten zeigt sich der durch Fehlen des Pflanzenbestandes bedingte Schaden natürlich im Hochgebirge, wie R A. Jugoviz[6]) so deutlich klarlegte. Doch auch anderen Orts kann man derartige Beobachtungen machen. So führt z. B. auf einem mir bekannten Truppenübungsplatz Norddeutschlands, dessen Gras-

---

[1]) L. Fautrat, Compt. rend. **85**, 340 (1878).

[2]) Vgl. W. Riegler, Mitteil. forstl. Versuchswes. Österreichs **2**, 234 (1879). A. Matthieu, Météorol. compar. agric. forest. (Paris 1878); E. Wollny, Forsch. Geb. Agrikulturphysik. **13**, 335 (1890).

[3]) Vgl. auch C. Emeis, Allg. Forst- u. Jagdztg., n. F. **81**, 367 (1905).

[4]) Ein gutes Beispiel dafür, wie der Regenschutz seitens eines Baumes die physikalische Verschlechterung durch Zusammenschlämmen des Bodens verhütet, bei P. Vageler, Die Mkattaebene, Beih. Tropenpflanz. **11**, Nr. 4—5, 132 (1910). Vgl. weiter aber E. Ramann, Bodenkunde, 3. Aufl., 465 (Berlin 1911).

[5]) Solche Ansichten schon bei Bosc, zit. nach A. Bateson, Neues Ackerbausystem, übers. G. H. Haumann (Ilmenau 1828) 69.

[6]) R. A. Jugoviz, Wald u. Weide i. d. Alp. (Wien 1908) 24 u. 30.

narbe dauernd durch Pferdehufe und Menschentritte geschädigt wird, bei trockenem Wetter der Wind den feinen Staub weit fort, bis in die in der Nähe liegende Stadt und weiter.[1]) Ganz ähnliche Beobachtungen bringt C. Emeis,[2]) der auch nachweist, wie der Zerstörung des Pflanzenwuchses die Sandverwehung folgte.

b) Austrocknung.

Aber nicht nur indirekt, vor Wind und Regen schützend, betätigt sich der Pflanzenwuchs; auch direkt wirkt er auf die Bodenkolloide und zumal deren Ausflockung und die damit in Zusammenhang stehende günstige Krümelbildung hin, indem er dem Boden Feuchtigkeit entzieht. Bekannt ist, daß man bei manchen Bäumen von dieser Fähigkeit sogar direkt zur Trockenlegung von Sumpfland Gebrauch zu machen suchte, es sei an Eukalyptusanpflanzungen in Italien erinnert.[3]) Aber auch bereits unsere Fichten und Kiefern sind wegen ihrer den Boden austrocknenden Fähigkeiten bekannt,[4]) und ähnliches gilt natürlich überhaupt von den wildwachsenden Pflanzen.[5]) Über die Kulturpflanzen wird ja später noch zu sprechen sein. Hier genüge es, daß die wildwachsenden Pflanzen den Boden austrocknen und demnach auch auf die Bodenkolloide durch Wasserentzug wirken müssen.

Es ist hier für unser Gebiet noch von Bedeutung, daß ohne Pflanzenwuchs die obersten Bodenschichten übermäßig ausgetrocknet werden würden, daß aber der Pflanzenwuchs, zumal der tiefer wurzelnden Pflanzen, die oberen Bodenschichten vor starker Austrocknung bewahrt, da der Boden beschattet und vor Wind geschützt wird,[6]) dagegen die

---

[1]) Ganz ähnlich kann auf dürrem Sandboden der Pflanzenbestand durch übermäßig betriebene Schafweide zerstört werden.

[2]) C. Emeis, Allg. Forst- u. Jagdztg., n. F. **78**, 402 (1902).

[3]) Vgl. u. a. W. v. Hamm, Fieber- od. Blaugummibaum (Wien 1871).

[4]) Vgl. Angaben von Oberingenieur Sartiaux aus Frankreich, zit. bei E. Ebermayer, Forsch. Geb. Agrikulturphysik **12**, 162 (1889). Ferner weitere Mitteilungen am gleichen Ort, sowie ebendort 165, Anmerkung.

[5]) Nach F. von Höhnel, Mitteil. forstl. Versuchswes. Österreichs **2**, Heft 1 (1879); N. F. Heft 1/3, (1883/84) verdunstet ein 115 jähriger Buchenbestand während der Vegetationszeit im Mittel 4 Millionen Kilo Wasser für den Hektar

[6]) Nach J. Schubert, Jährl. Gang Luft- u. Bodentemp. (Berlin 1900) 22, ist, allerdings auf Grund nicht ganz fehlerfreier Methodik, eine deutlich geringere Temperatur des Waldbodens im Sommer gegenüber dem freien Land festzustellen. Im Winter ist umgekehrt die Temperatur des Bodens im Walde, allerdings nur um geringes, höher als für freies Land, und dementsprechend dringt der Frost in Waldboden weniger tief ein. J. A. Hensele ermittelte weiter, daß die Verdunstung des Wassers aus dem Boden durch den Wind außerordentlich gesteigert wird; Forsch. Geb. Agrikulturphysik **16**, 343 (1893).

tiefer liegenden Schichten stärker des Wassers beraubt. Wir haben hier einen der Gründe für die Krümelbildung des Erdbodens ohne menschliches Zutun vor uns.

c) Krümelbildung im Boden ohne menschliche Hilfe.

Daß auch in Erdböden, die der Pflege und Beeinflussung durch den Menschen völlig entzogen sind, Krümelbildung und damit günstigeres Bodengefüge sich zeigt, ist bekannt. Auch Waldboden weist Krümelung auf, sandiger sogar in tieferen Schichten,[1]) sogar im Hochgebirge kann man, wie ich ermittelte, an Stellen, wo sich humushaltige Erde angesammelt hat, eine ziemlich weitgehende Krümelung des Bodens feststellen.

Als Ursache ist zunächst der Frost zu nennen, der auch durch den Druck entstehender Eiskristalle Erdschollen emporheben und zerbrechen kann. Im hohen Norden hat man sogar die Hebung von Erdmassen durch darunter gebildete Eiskristalle um mehr als ein Meter Höhe beobachtet.[2]) Dann ist der Temperaturunterschied zwischen Sonnentag und klarer, kalter Nacht mit ihren Ausdehnungsverschiedenheiten wichtig;[3]) daneben tritt die wechselnde Ausdehnung und Zusammenziehung des Bodens[4]) beim Quellen infolge der Niederschläge und beim Wiederaustrocknen.[5]) Recht interessant sind hierfür alte, wie so vieles Wichtige auf dem Gebiete der Bodenkunde vergessene Versuche von W. Schumacher. Dieser ließ[6]) einen Klumpen „stark gebundenen, grobkörnigen, gut durchlässigen" Lehms

[1]) E. Ramann, Forsch. Geb. Agrikulturphysik **11**, 299 (1888). Unter anderem besonders 302, 306, 309, 314. Weiter auch 316 usw.

[2]) O. Lehmann, Flüssige Kristalle (Leipzig 1904) 137.

[3]) K. Sapper, Vulkangeb. Mittelamerikas (1905) 139, berichtet z. B. über die lockernde Wirkung der Besonnung auf ziemlich stark verhärtete Aschenschichten. Was sich in den Tropen stark bemerkbar machte, wird auch in unserem Sommer nicht ganz ohne Bedeutung sein.

[4]) E. Ramann, erwähnt die Zerklüftung gewisser russischer Böden unter dem Einfluß der Austrocknung; Bodenkunde, 3. Aufl. 537—538 (Berlin 1911). Vgl. denselben Forscher, Waldstreu (Berlin 1890) 45; Forsch. Geb. Agrikulturphysik **11**, 322 (1888).

[5]) Diese kann bei Humuskolloiden so erheblich sein, daß die Befeuchtung geradezu zu einem Zerspringen und Umherspringen der Stücke führt, wie ich bei Befeuchtung von getrocknetem Ortsteinauszug im Dampfraum über 10% Schwefelsäure beobachtete. Die Feststellung der Hygroskopizität war hierdurch aufs äußerste erschwert.

[6]) W. Schumacher, Der Ackerbau (Wien 1874) 42.

breiförmig unter Wasser aufweichen, dann vollständig austrocknen, und schnitt nun daraus einen stereometrischen Körper mit scharfen Kanten heraus, dessen Seiten und Höhe sich leicht messen ließen. Wurde dieser nun, auf einer fein durchlöcherten Platte stehend, von unten kapillar mit Wasser gesättigt, so trat eine verhältnismäßig beträchtliche Volumausdehnung ein, der Körper zog sich dann aber beim Austrocknen nicht wieder auf sein ursprüngliches Ausdehnungsmaß zurück; das Gefüge hatte sich also durch das Quellen und Wiederaustrocknen etwas gelockert. Diese Lockerung vermehrte sich bei weiterer Wiederholung des Vorganges noch, bis schließlich ein Gefügezustand erreicht wurde, bei dem weitere Auflockerung unterblieb.

Der Vorgang konnte übrigens nicht bei allen von W. Schumacher untersuchten Bodenarten beobachtet werden, und dieser Forscher dürfte sehr richtig schließen, wenn er als wesentlich für die Erscheinung das Vorhandensein von Sand nicht zu feiner Art neben den die Quellung bedingenden Bodenkolloiden ansieht. Durch die Bewegung des Bodens beim Quellen verändern dann diese gröberen Bodenteilchen ihre gegenseitige Lage, und bei dem dann folgenden Austrocknen vermögen sie nicht, beziehungsweise nicht völlig in die ursprüngliche Stellung zurückzukehren, es kommt somit zu einer Veränderung des Gefüges. „Wenn sich auch die Feinerde an und für sich auf ihr natürliches Gefüge zusammenzieht, so werden doch die Gesteinstrümmer die an ihnen haftende Feinerde an sich ziehen, wodurch in der Feinerdemasse feine Rißchen entstehen. Bei dem Austrocknen vieler derartiger Bodenarten kann man diese feinen Rißchen sowie zahllose Poren mit bloßem Auge sehen."[1]) Daß diese Rißbildung noch weitere Bedeutung für den Zerfall des Bodens in einzelne Krümel besitzen kann, stellt P. Kossowitsch[2]) fest. „Längs der entstandenen Risse geht beim Niedergehen von Niederschlägen eine Fortbewegung der Bodenlösungen vor sich. Die letzteren laugen die oberflächlichen Schichten der Krümel aus und entziehen ihrer Oberfläche die zementierenden Stoffe. Auf diesem Wege zerfällt der Schwarzerdeboden in kleine, eckige Stückchen, die sich immer ausgeprägter isolieren. Schließlich erhält er eben eine feinklumpige, die Krümelstruktur."

Schon F. Senft stellte ferner fest, daß ein ausgetrockneter harter Ton, der oberflächlich und ungleichmäßig befeuchtet wird, durch die Aus-

[1]) W. Schumacher a. a. O. 43.

[2]) P. Kossowitsch, Schwarzerde, a. a. O. Die oben wiedergegebene Anschauung gibt natürlich nur eine beschränkte Seite des Vorganges wieder.

dehnung der befeuchteten gegenüber den trocken gebliebenen Stellen zerfällt. Ja auch ganz mit Wasser umgebener ausgetrockneter Ton zerfällt zunächst in zerbröckelte Schalen.[1])

Derartige Vorgänge sind sehr wahrscheinlich ganz allgemein im Boden anzunehmen, und die bei Quellung und Schrumpfung der Bodenkolloide auftretenden, sehr erheblichen Kraftäußerungen, über die früher bereits gesprochen wurde, werden uns vor ihrer Unterschätzung ebenso behüten, wie die verhältnismäßig langen Zeiträume und häufigen Wechsel zwischen feucht und trocken, die für sie in Betracht kommen.[2])

Immerhin würden sie aber nicht für die Erklärung einer Krümelbildung auch in tieferen Naturbodenschichten ausreichen, wenn nicht die Pflanzen an der Austrocknung derselben so wesentlich Anteil nähmen, ja sie erst ermöglichten. Denn das Austrocknen unbewachsenen Bodens wird durch Spalten- und Rißbildung zwar auch auf nicht ganz geringe Tiefen bewirkt, immerhin jedoch keineswegs in dem Umfange und auf die Ausdehnung hin, wie durch die Pflanzenwurzeln. Es mag angezeigt sein, hier gleich darauf hinzuweisen, daß die Wirkung der Pflanzen auf die Krümelung des Bodens sich auch noch in anderer Weise geltend zu machen vermag. Zunächst ist es zweifellos, daß die Pflanzenwurzel bei ihrem Wachstum im Boden auf die benachbarten Bodenteilchen einen Druck ausüben und diese zum Teil auch zur Seite schieben wird. Man hat nur nötig, sich die Verhältnisse bei dem Sämling eines Waldbaumes und die Entwicklung der Wurzeln desselben in mehreren Jahrzehnten vorzustellen, um auch ähnliche, nur weitaus geringere und weniger bemerkbare Wirkungen von seiten jeder den Boden durchdringenden Pflanzenwurzel anzunehmen. Und wie beim Eindringen und Wachsen in den Boden, so gibt die Pflanzenwurzel noch einmal beim Absterben und Verwesen Gelegenheit zu Bewegungen des Erdbodens, indem sie nun freien Raum bietet. Bei der unermeßlichen Ausdehnung, in der kleine und große Wurzeln den Boden durchsetzen, in ihm entstehen und vergehen, darf man auch diesem Gebiet der Krümelbildung im Boden eine gewisse Beachtung schenken, wie dies bereits von E. Ebermayer unter Hinweis auf die Mykorrhizen geschah.[3]) Besonders hat A. Mitscherlich dann auf diese Wirkungen der Wurzeln für den Erdboden, oder eigentlich wohl mehr umgekehrt, auf die Bedeutung des

[1]) F. Senft, Steinschutt u. Erdboden (Berlin 1867) 239—240.
[2]) M. Berkmann, Intern. Mittlg. Bodenk. **3**, 8—12 (1913).
[3]) E. Ebermayer, Forsch. Geb. Agrikulturphysik **13**, 39 (1890).

Widerstandes des Bodens für Wurzel und Pflanze aufmerksam gemacht.[1]) Man wird noch an die Wechselwirkungen zwischen Anfeuchtung bzw. Austrocknen einerseits und dem Einfluß der Wurzeln andrerseits denken müssen, will man die hier vorliegenden Verhältnisse voll übersehen.[2]) Es kommt noch hinzu, daß die Wurzelhaare während ihres Lebens, und wohl häufig noch eine geraume Zeit darüber hinaus, einzelne Bodenteilchen zusammenheften, die dann leicht bei Schwinden des umgebenden Bodens sich von diesem loslösen und die Rolle selbständiger Krümel übernehmen. Auch andere, niedere Pflanzen werden so krümelbildend wirken können, z. B. nach E. Ramanns Hinweis die Bodenpilze in Waldböden.[3]) Hierbei käme noch dazu, daß die aus kolloider Pflanzenmasse bestehenden Wurzel- und Pilzfäden beim Absterben und Austrocknen stark schrumpfen und so die von ihnen vereinten Bodenteilchen von dem übrigen Boden loslösen und zu einem Sonderkrümel vereinen.

Allerdings wird, um solche Wirkungen in erwähnenswertem Umfange zu ermöglichen, immer eine Bewegung und Lockerung des Bodengefüges stärkerer Art eintreten müssen, als sie wenigstens auf kolloidarmen Böden durch Quellung und Schrumpfung bedingt sein kann. Neben dem Frost, der ja auch in der Regel nicht allzu tief einzudringen vermag, kann hier eine weitere Wirkung der Pflanzen auf den Boden genannt werden. Die Bewegung der oberirdischen Pflanzenteile durch den Wind muß sich notwendigerweise auf die Wurzeln und von ihnen aus auf den Boden übertragen. Wenn wir von der Verankerung eines Getreidehalmes oder eines Waldbaumes durch seine Wurzeln sprechen, so darf uns die Vorstellung nicht fremd bleiben, daß diese Wurzeln bei Wind oder Regenbelastung der Pflanze Zug- und Druckwirkungen auf den Boden ausüben. Wenn sich bei Windwurf im Walde zeigt, daß mächtige Erdschollen, ja ganze Felsen dem Zuge der Wurzeln des fallenden Baumes nachgaben und herausgerissen wurden, so muß man damit rechnen, daß auch der stehenbleibende Baum unter dem Einfluß des Windes das Erdreich tüchtig durchschüttelt, lockert und in gewisser

---

[1]) A. Mitscherlich, Bodenkunde 1. Aufl. (Berlin 1905) 124, (Berlin 1913) 2. Aufl. Derselbe, Fühlings landw. Ztg. **58**, 388 (1909); vgl. dazu P. Ehrenberg, Fühlings landw. Ztg. **59**, 12 (1910).

[2]) „Die Verteilung des Wassers wird ungleichmäßig, wasserarme und wasserreiche Stellen finden sich nebeneinander, und damit, zumal in Böden, die an Humus und feinerdigen Teilen reich sind, treten Volumänderungen auf, die zur Sonderung und Krümelung des Bodens führen." E. Ramann, Bodenkunde, 3. Aufl. (Berlin 1911) 457.

[3]) E. Ramann, Bodenkunde, 3. Aufl. (Berlin 1911) 435.

Weise bearbeitet.[1]) Und wie der große Waldbaum, nur natürlich in geringerem Maße, muß auch der Grashalm oder irgendeine andere Pflanze derart lockernd auf den Boden einwirken. Für Bäume ist der Vorgang denn auch bereits beobachtet worden, und die dabei auftretende Aufwölbung bzw. Verschiebung des Bodens wurde geradezu als wellenartig bezeichnet. Ohne daß es stets zu so auffallenden Erscheinungen[2]) kommen müßte, wird doch jede Beanspruchung einer Pflanze durch Wind sich mittels der Wurzeln auf den Boden übertragen. Da es dabei bald nach dieser, bald nach jener Richtung zu Zugwirkungen kommt, die stets zu einem gewissen Teil nach oben gerichtet sind, so ist eine gewisse Auflockerung die zu erwartende Folge, ohne daß man auch diese Wirkung überschätzen dürfte. Doch werden die mannigfachen, nach der gleichen Richtung der Bodenlockerung wirkenden Umstände, deren hier gedacht werden konnte, sich in der freien Natur zu einem beachtenswerten Wirkungs wert vereinen. — Daß die Entwicklung von Kohlensäure durch die Wurzeln und damit die Lösung von kohlensaurem Kalk von weitgehender Wirkung auf die Krümelung des Bodens sein dürfte und in ähnlicher Weise auch von Bakterien ausgeschiedene Kohlensäure und Salpetersäure wichtig sind, konnte bereits erwähnt werden und wird bei Besprechung der durch den Menschen herbeigeführten Veränderungen der Bodenkolloide noch zu behandeln sein.

Außer der Austrocknung von Bodenkolloiden, die durch Pflanzenwuchs herbeigeführt werden kann, und den Folgen, welche durch Pflanzen gewährter Regen- und Windschutz auch für die Kolloide des Bodens im weiteren Sinne hat, sind nun noch eng mit dem Vorhandensein wilder Pflanzen bzw. ihrer Reste zusammenhängende Kolloidvorgänge hier zu besprechen, die für gewöhnlich unter der Bezeichnung „Ortsteinbildung" zusammengefaßt werden. Denn die Ansicht E. Kalkowskys, daß für die Verkieselung, wie sie in Wüsten auftritt,[3]) Pflanzen entstammende

---

[1]) Schon in der „Agrikulturchemie" des Grafen R. Chaptal, übers. von H. F. Eisenbach 1, 175 (1824), findet sich folgendes: „Die Winde . . . schütteln die Bäume hin und her . . . und bewegen sogar ihre Wurzeln. Die Erde, welche diese Wurzeln umgibt, wird dadurch beständig aufgerüttelt . . ."

[2]) Allg. Forst- u. Jagdztg. (1890) 159: „Der Boden bewegte sich, soweit das Auge reichte, wellenartig und mitunter fußhoch, welche Erscheinung durch Anspannen und Aufheben der weit ausgreifenden Wurzeln, auch wohl mit einem Teil der Erde, beim Niederbeugen des Stammes auf die entgegengesetzte Seite verursacht wurde." — Um dem Windwurf entgegenzuarbeiten, wird in manchen Gebirgsgegenden durch Steinpackungen der Beanspruchung der Bodenschichten mit den darin verlaufenden Wurzeln durch den Wind entgegengearbeitet.

[3]) E. Kalkowsky, Abhandl. Isis, Jahrg. 1901, 67 (Dresden 1902).

Kieselsäure und damit Pflanzen maßgebend gewesen seien, erscheint mir noch nicht ausreichend genug bewiesen, um hier darauf einzugehen. Im Gegenteil dürfte wohl, wie oben erwähnt, auch in Wüsten die Sodabildung die Lösung der Kieselsäure aus den Gesteinen fördern.

d) Ortsteinbildung.

aa) Grundlagen.

α. Allgemeines.

Die Ortsteinbildung ist aus unseren großen norddeutschen Heideflächen wohlbekannt, hat sich aber auch an vielen anderen Orten gezeigt. Sogar früheren geologischen Perioden angehörige Ortsteinbildungen glaubt man feststellen zu können.[1])

[1]) H. Schreiber sieht in der Steinkohle Englands das „Blackband" als fossilen Ortstein an. Österr. Moorzeitschr. **12**, Nr. 3. — Über jüngere Ortsteinbildungen und deren wenigstens zwei Jahrtausende betragendes Alter vgl. O. Lemcke, Inauguraldissertation (Münster 1903) 41. Von Herrn Forstmeister Prof. Dr. C. Metzger, Sonnenberg bei Wiesbaden, erhielt ich weiter die folgende briefliche Nachricht: „Auf Ihre Anfrage betreffend tertiäre Ortsteinquarzite gebe ich gern über meine alten Studien einige Andeutungen. Von meiner Idee, daß gewisse tertiäre Quarzite als verkieselter Ortstein zu deuten seien, ist bisher nichts veröffentlicht. Der Gedanke ist mir 1892 bei Besuchen der tertiären Quarzite am Meißner, Menserberg, Habichtswald, bei Uslar usw. gekommen und dann weiter verfolgt worden. Besonders schöne Beispiele gab es damals in den Habichtswalder Braunkohlengruben, wo sich die ganze Formation noch in natürlicher Lage fand. (Siehe I. Fr. L. Hausmann, Vorkomm. Quellengeb. in Begleit. Basaltes d. Werra-Fuldageg. [Göttingen, 1858], 19 u. f.) Die in natürlicher Lage stehenden Stümpfe des Taxodiumwaldes standen unmittelbar auf dem Quarzit, unter dem der unveränderte tertiäre Sand ansteht, der von Tonschichten durchzogen ist. Da die Verkittung der Quarzkörnchen des Quarzits durch ausgefällte Kieselsäure, die in den heißen Quellen der Basaltdurchbrüche gelöst war, geschehen ist, sagte ich mir, daß das heiße Wasser in dem Ortstein bzw. der Roterde der Taxodiumheiden, die unsern östlichen Kiefernheiden sehr ähnlich waren, die undurchlassende Schicht gefunden haben muß, die es in der Oberfläche festhielt. Verkittet und zu Quarzit umgebildet wurde also der Bleichsand und Ortstein. Deshalb bei Quarziten in natürlicher Lage so oft die weiße Farbe an der oberen, die rostbraune bis braunschwarze an der unteren Seite. Solche Bildungen finden sich natürlich nur da, wo die Vorbedingungen zusammentrafen: eine zusammenhängende Ortsteinlage, die durch heiße Quellen mit kieselsäurehaltigem Wasser überspült wurde. Selbstverständlich sind nicht alle Quarzite verkieselte Bleichsand- und Ortsteinlagen. Denn die kieselsäurehaltigen Wasser sind auch an anderen Stellen in Sandlager eingedrungen, die nicht von Wald oder Ortstein bedeckt waren, gewiß oft auch von der Seite oder von unten. Für mich war dieser Verkieselungsvorgang durch heiße Quellen nur insofern interessant, als er uns Zeugnis dafür über-

Als Grundlage der Ortsteinbildung wird jetzt wohl allgemein angenommen, daß durch eine Auflagerung von Humusstoffen auf den Boden, welche mehr oder weniger mit der obersten Erdschicht vermischt sein können, die in das Wald- oder Heideland[1]) hinein versinkenden Wässer die Fähigkeit erhalten, Bodenbestandteile in größerem Umfange mit sich in die Tiefe zu nehmen. Tritt dann in tieferen Schichten eine Abgabe dieser Bodenbestandteile ein, so kommt es zu Verdichtungen und Verhärtungen, der Ortstein ist da. Die höher gelagerten, der Auswaschung vorwiegend unterliegenden Teile des Bodens zeigen den Verlust färbender Bestandteile, so z. B. des Eisens, durch eine fahle, weißlich graue Farbe, die außerdem durch in dieser Bodenschicht verbreitete Humusteilchen bedingt ist. Sie hat davon den Namen „Bleisand" oder „Bleichsand" erhalten. Es gibt unzweifelhaft von dem Fall, in dem nur eine obere Schicht durch Auswaschung mehr oder weniger verarmt, eine untere sich dementsprechend anreichert, bis zur Bildung steinharter, dicker und ausgedehnter Ortsteinlagen eine umfangreiche Reihe von Übergängen,[2]) die von einander nur dem Grade nach abweichen dürften.

Wenn wir uns unter Beachtung der bereits besprochenen Wirkungen der Naturvorgänge auf die Bodenkolloide diesen Vorgang der „Ort"-bildung[3]) zu erklären suchen, so fällt der Vorgang der Untergrundbildung,[4]) der Durchschlämmung feinster Teilchen oder des Hinabschlämmens, als verwandt auf. Auch bei ihm wird durch die Niederschläge ein Teil der feinen Bestandteile aus den höheren Bodenschichten in tiefere verlagert, um hier zum wenigsten die Durchlässigkeit und Locker-

liefert hat, daß die Taxodiumheiden in ähnlicher Weise, wie wir es heute in unsern Kien- und Callunaheiden beobachten, Schichtenbildung, durch Humussäuren veranlaßt, in den oberen Bodenschichten besitzen konnten." — Ich glaubte diese wertvollen Feststellungen und ihre Deutung hier ausführlich mitteilen zu sollen.

[1]) Während von manchen Seiten die Heide als „Mutter" des Ortsteins angesehen wird, wollen andere Forscher Ortsteinbildungen wesentlich mit dem Walde zusammenbringen, z. B., abgesehen von russischen Schriftstellern, R. Albert. Zeitschr. Forst- u. Jagdwes. **44**, 137—138 (1912). In Wirklichkeit dürfte aber Ortstein überall dort auftreten können, wo ausreichende Niederschläge mit größeren Mengen von sauren Humusstoffen, die in mittlerer Dicke den Boden überlagern, für längere Zeiten zusammentreffen. Natürlich kommen auch noch andere Bedingungen in Frage.

[2]) Vgl. z. B. E. Ramann, Waldstreu (Berlin 1890) 48.

[3]) So dürfte man sagen, denn es gibt sowohl „Ortstein" als auch die weniger oder nicht verhärtete „Orterde".

[4]) Vgl. oben 179 ff.

heit zu vermindern.[1]) Ähnliches, nur oft weitaus stärker, zeigt uns das Auftreten von Ortstein im Boden. Es wird so nicht ganz ohne Berechtigung sein, auch bei ihm an die Vorgänge des Durchschlämmens zu denken.[2])

β. Tonortstein.

Nun finden wir tatsächlich eine auch als Ortstein bezeichnete Bildung, für die solches Durchschlämmen wohl wesentlich, wenn nicht ausschließlich eine Rolle spielt, den von P. E. Müller so bezeichneten „Tonortstein".[3]) Doch sei hier sogleich hervorgehoben, daß die darunter verstandene Bildung nur einige Punkte mit dem eigentlichen Ortstein gemeinsam hat.

Der Tonortstein stellt sich als verhärtete oberste Schicht des Untergrundes dar,[4]) die unter einem lockeren, durchaus günstig beschaffenen, humosen Waldbodenobergrund liegt.[5]) Da nun in solchen Böden die Tonmenge gleichmäßig von der Oberfläche nach unten zu steigt, so schloß bereits P. E. Müller auf eine namhafte Durchschlämmung feiner Teilchen durch den Boden infolge der Niederschlagswirkung.[6]) Es bedarf nur noch folgender Überlegung, um die Gründe der Tonortsteinbildung im wesentlichen zu klären: Kommt es auf einem Boden zu länger dauernder Lockerung der oberen Schichten bei Kalkarmut, so werden diese durch das hinabsinkende Wasser besonders weitgehend ausgewaschen werden. Trifft das mit Tonkolloiden und feinsten Sanden beladene Wasser dann auf Bodenschichten, die bereits fest und eng gelagert sind, da sie der Lockerung mehr oder weniger entbehrten, so wird in ihnen das Wasser die mitgeführten Kolloide zurücklassen[7]) und so zu einer fortschreitenden Verdichtung und Verfestigung Anlaß geben. Das sind die Verhältnisse, die auf Ackerland die Entstehung der Pflugsohle verursachen können und die in Wald und Heide und überhaupt unter anderen, dem Einfluß des Menschen entzogenen Verhältnissen die Bildung des Tonortsteins herbeiführen.

---

[1]) Vgl. dazu die von P. E. Müller angeführten Bodenanalysen, in: Natürl. Humusform. (Berlin 1887) 210.

[2]) Vgl. z. B. auch R. Albert, Zeitschr. Forst- u. Jagdwes. **42**, 329 (1910).

[3]) Auch „Waldortstein" genannt, was aber als irreführend vermieden werden sollte; P. E. Müller, ebendort 220.

[4]) P. E. Müller. Natürl. Humusform. (Berlin 1887) bes. 220.

[5]) Ebendort 133.

[6]) Ebendort 186.

[7]) Dabei muß, wie beim allmählichen Verstopfen von Filtern, die Adsorption eine Rolle spielen.

Die Lockerung der oberen Bodenschichten, die auch wirklich vorhanden ist,[1]) wird im Walde durch die vielen, oben[2]) besprochenen Umstände, die wohl noch durch mancherlei andere[3]) ergänzt werden, bedingt. Nun wird man dem aber entgegnen, daß so einfache, wohl oft vorkommende Bedingungen ein viel häufigeres Vorkommen des Tonortsteins, des „weißen" Ortsteins, wie man ihn wohl auch genannt hat, erwarten ließen. Und so sehr verbreitet scheint er nicht zu sein.[4]) Dazu ist aber zu betonen, daß er einmal für viele Lehmböden kennzeichnend[5]) sein wird. Denn Sandböden werden meist nicht die Grundbedingungen für seine Entstehung bieten. Weiter aber tritt bei Auflagerungen von saurem Humus auch nicht die Tonortsteinbildung ein, sondern dann wird, wie später zu zeigen ist, der eigentliche Ortstein entstehen, wenn die Niederschläge und sonstigen Bedingungen dazu ausreichen. Und endlich kommt es sehr wahrscheinlich auch dann nicht zum Auftreten von Tonortstein, wenn die oberen Bodenschichten reichlicher Kalk enthalten. Dieser würde, wie wir wissen, den „Ton" zusammengeballt erhalten, was auch mit den praktischen Erfahrungen übereinstimmt. Wenigstens wird man P. E. Müllers Angaben als Hinweise hierauf ansehen dürfen,[6]) ebenso eine Mitteilung von A. Orth.[7])

Daß für die Entstehung dieser Bildung nun weder Humusstoffe, noch Eisen oder Kalk als direkte Verkittungsmittel eine Rolle spielen, geht aus ihrem Verhalten gegen Lösungsmittel, daneben wohl auch zum Teil aus ihrer grauen bis weißgrauen Farbe hervor. Tonortstein bleibt nämlich durch ammoniakhaltiges Wasser — das den Humus lösen würde — und auch durch säurehaltiges Wasser — es müßte auf Eisen und natürlich auch Kalk Einfluß ausüben — vollständig unverändert, zerfällt aber beim Kochen mit destilliertem Wasser und bildet eine lehmhaltige Flüssigkeit.[8])

Vielleicht mag noch nachzutragen sein, daß Tonortstein[9]) so hart

[1]) P. E. Müller a. a. O. 132.

[2]) Oben 376 u. f.

[3]) So durch die noch zu behandelnden Tierwirkungen.

[4]) E. Ramann, Waldstreu (Berlin 1890) 23; vgl. aber auch P. E. Müller a. a. O. 133; F. Schucht, Internat. Mitteil. Bodenk. **3**, 409/410 (1913).

[5]) Ebenda und bei P. E. Müller 220 u. 222. Tonortstein fehlt in sehr lehmarmen Böden und ebenso im sehr strengen Ton.

[6]) Er schreibt dem milden Humusboden der in Frage kommenden Wälder eine neutrale Reaktion zu gegenüber der alkalischen des Ackerlandes.

[7]) A. Orth, Kalk- u. Mergeldüngung (Berlin 1896) 45.

[8]) P. E. Müller a. a. O. 105.

[9]) Weitere Angaben über Tonortstein bei C. F. A. Tuxen, in dem erwähnten Buch von P. E. Müller 109—112, 300—302.

werden kann, daß er sich, namentlich feucht, nur mit der Hacke durchbrechen läßt.[1]) Wenn er nun auch eine gewisse Porosität aufweisen dürfte, im Fall er ausgetrocknet ist — was durch Schrumpfung der Tonkolloide erklärlich erscheint —, so vermag er doch sowohl dem Wasser wie den Baumwurzeln erhebliche Hindernisse auf ihrem Wege in die Tiefe entgegenzustellen.[2])

γ. Heidelehm und Molkenboden.

Wahrscheinlich dem Tonortstein nächst verwandt und auch zum Teil gleich benannt ist der Heidelehm, auch wie der Tonortstein als „weißer Ortstein"[3]) bezeichnet, der sich in Heide- und Flugsandflächen als bodenverhärtende Schicht findet. In Westfalen wird etwas ähnliches gelegentlich als „Senkel" bezeichnet.[4]) Auch hier ist anzunehmen, daß durch die hinabwaschende Tätigkeit der Niederschläge kolloide Teilchen des Bodens — hier dürfte es sich neben geringen Mengen eigentlicher Kolloide[5]) vorwiegend um feinere und feinste Sande handeln[6]) — in die Tiefe geführt wurden und sich an dazu geeigneten Stellen abgelagert haben. So z. B. dort, wo auf den übergewehten, lockeren Flugsand oder Heidesand eine andere Bodenart, etwa Diluvialsand, folgt.[7]) Also wieder Auswaschung oberer, lockerer und gewiß wenig Kalk führender Schichten und Abscheidung an deren Grenze gegen den dichteren Boden. Ähnliche Angaben finden sich weiter bei W. Graf zu Leiningen.[8])

Als möglicherweise hierher gehörig[9]) scheinen meiner Meinung nach auch die „Molkenböden" der Weserberge und die „Klebsandböden" im

[1]) Ebenda 133, 220—222.

[2]) Ebendort 220—221.

[3]) C. Emeis, Vereinsbl. Heidekulturvereins, zit. nach Zeitschr. Forst- u. Jagdwes. **19**, 694 (1887). G. Behrendt und L. Meyn benutzen den Ausdruck Heidelehm; vgl. ebenda.

[4]) O. Lemcke, Inauguraldissertation (Münster 1903) 43.

[5]) In einigen für „Senkel" untersuchten Fällen, vgl. O. Lemcke a. a. O., kam neben etwas Ton besonders hydratische Kieselsäure in Betracht.

[6]) Auch der von P. Graebner-O. von Bentheim, Lehrb. Heidekultur (1904) 165, erwähnte, tief lagernde Ortstein unter Flottlehm wird vielfach wesentlich durch Hinabwaschung der feinen Sandteilchen entstanden sein.

[7]) E. Ramann, Zeitschr. Forst- u. Jagdwes. **19**, 697 (1887).

[8]) W. Graf zu Leiningen, Abhandl. Naturhist. Gesellsch. Nürnberg **19**, I, 19 (1911).

[9]) K. Vogel v. Falckenstein u. G. Frhr. v. Romberg, Intern. Mittlg Bodenk. **5**, 88 (1915); M. Bräuhäuser teilt nach gütiger, briefl. Mitteilg. diese Ansicht.

Schwarzwald[1]) zu betrachten zu sein. Doch ist ausreichende Durchforschung der Frage wohl noch nicht möglich gewesen, obwohl sich nach O. Grupe[2]) eine ganze Reihe von Forschern ihr zugewandt haben. Daß eine scharfe Grenze die Molken- und Klebsandböden vom eigentlichen Ortstein trennt, ist kaum zu bezweifeln. Anders steht es vielleicht bezüglich der Verwandtschaft mit Tonortstein bzw. Heidelehm, obwohl sich auch andere Ansichten finden. Es scheint, daß es sich hier, wie bei den vorbesprochenen Erscheinungen, um einen gelockerten[3]) Obergrund handelt, auf den dann eine dichte Unterschicht folgt.[4]) Wieder, wie in den vorbesprochenen Fällen, sind hier wohl Bodenkolloide, und zwar, auch nach R. Hornbergers[5]) Feststellungen, weniger Ton, als feinste Sande,[6]) wohl gelegentlich mit etwas Unterstützung durch Humuskolloide,[7]) in die Tiefe gewaschen worden.

Den „Molkenböden" verwandt sind vielleicht die „Missen" im oberen Buntsandstein der östlichen Abdachung des Schwarzwaldes. Der obere Buntsandstein ist dort tonig und feinsandig ausgebildet, was dem aus ihm entstehenden Feldboden Bindigkeit und erhöhte Adsorptionsfähigkeit verleiht. Andererseits kann diese Beschaffenheit aber durch die verringerte Wasserdurchlässigkeit Neigung zu Versumpfung bedingen, zumal im Walde.[8]) Es scheint, als wenn die von M. Bräuhäuser und A. Schmidt hervorgehobene Erscheinung,[9]) daß die „Missen" in dem tonhaltigen, fast überall karbonatfreien oberen Buntsandstein auftreten, dagegen der Ortstein in dem gleichfalls karbonatfreien, mittleren Buntsandstein, der tonarm ist,[10]) eine Erklärung ermöglicht.

Die Wirkungen dieser Art von Bodenverdichtungen sind die üblichen.

---

[1]) Ramm, Vers. Württembg. Forstverein (1908); M. Bräuhäuser u. A. Schmidt, Erl. geol. Spezialkarte Württembg., Bl. Simmersfeld **79**, **49** (1908); Regelmann, a. a. O. Blatt Baiersbrunn **92**, 92 (1908); M. Bräuhäuser, a. a. O. Blatt Schramberg **129**, 85, 115 (1909); M. Bräuhäuser u. A. Sauer, a. a. O. Blatt Alpirsbach **117**, 107 (1913).

[2]) O. Grupe, Zeitschr. Forst- u. Jagdwes. **41**, 9 (1909); ders. zit. von F. Schucht, Intern. Mittlg. Bodenk. **3**, 405, Anm. 3 (1913).

[3]) K. Vogel von Falckenstein, Ber. oberhess. Gesellsch. Natur- u. Heilkunde Gießen, n. F., naturwiss. Abt. **5**, 151 (1912); derselbe und G. Frhr. v. Romberg, Intern. Mittlg. Bodenk. **5**, 75 (1915).

[4]) Ebendort 142.

[5]) R. Hornberger, Intern. Mitteil. Bodenk. **3**, 354 (1913).

[6]) K. Vogel von Falckenstein, a. a. O. 150.

[7]) Ebendort 144; G. Frhr. v. Romberg, Intern. Mittlg. Bodenk. **5**, 83 (1915) M. Bräuhäuser u. A. Schmidt, a. a. O. 52.

[8]) M. Bräuhäuser und A. Schmidt, a. a. O. 49.

[9]) Ebenda 53, 55, 57.

[10]) M. Bräuhäuser und A. Sauer, a. a. O. 93.

Ob nur die Verfestigung an sich mit ihrer Wirkung auf Pflanzenwurzeln und Bewegung des Wassers im Boden, oder ob auch ihre Fähigkeit, als feinkörniger Boden sich stark mit Wasser zu sättigen und dies lange festzuhalten eine Rolle spielt, wird je nach den Umständen wohl verschieden zu beurteilen sein. Nicht außer acht lassen darf man hierbei auch, daß die Sättigung solcher Bodenbestandteile mit Wasser unter einem ziemlich bedeutenden Druck der überlagernden Erdschichten geschieht und es daher leicht zu einem schon oben besprochenen „Undurchdringlichwerden" kolloider Teile für Wasser kommen kann.[1]) In allen diesen Fällen der Bodenverdichtung spielten die Pflanzen nun noch keine tätige Rolle. Doch schien es zweckmäßig, derartige Erscheinungen hier zu behandeln. Denn einmal führen von ihnen in der Natur Übergänge[2]) zum eigentlichen, durch Pflanzen, beziehungsweise. Pflanzenreste bedingten Ortstein, und dann sind die Grundlagen der Erscheinung, wie bereits gesagt werden konnte, dort zum Teil die gleichen wie hier.

δ. Vorbedingungen für die eigentliche Ortsteinbildung.

Für die eigentliche Ortsteinbildung ist zunächst das Grundlegende wieder die hinabwaschende Wirkung der Niederschläge. In Gegenden, die als arid ein Überwiegen der Wasserverdunstung gegenüber den Niederschlägen aufweisen, können schon deshalb und dann auch wegen der anders gearteten Zersetzung der Pflanzen, der vielfach abweichenden Humusbildung, Ortsteinvorkommnisse nicht auftreten. Dann tritt als zweiter Umstand die Wirkung der Humussubstanzen als Schutzkolloide hinzu, worauf wohl zuerst vom Verfasser deutlich hingewiesen werden konnte,[3]) obwohl die Bedeutung der Humusstoffe für die Ortsteinbildung natürlich schon längst bekannt war.

Die elektrolytarmen Regen- und Schneewässer bringen die sich als Überreste der Wald- oder Heidepflanzen ansammelnden Humusablagerungen um so leichter zur teilweisen Lösung, als die darunter befindlichen und sich mit ihnen mengenden Mineralböden häufig ziemlich kalkarm sind. Jedenfalls wird aber im Laufe der Zeit durch die immer mehr zunehmende Anhäufung von Humusstoffen auch etwa vorhandener,

[1]) Vgl. 148/149 u. 194. Vergl. auch M. Fleischer, Ch. A. Voglers Grundl. Kulturtechnik, 4. Aufl. **1**, Teil 1, 140 (Berlin 1909).

[2]) Die oben erwähnten Beobachtungen von W. Graf zu Leiningen sieht dieser augenscheinlich selbst als solche an.

[3]) P. Ehrenberg, Verh. Ges. deutsch. Naturf. u. Ärzte, Köln, **2**, 1. Hälfte, 131 (1909), bringt einen kurzen Auszug des dort gehaltenen Vortrags. Weiter auch schon: Koll.-Zeitschr. **3**, 204—205 (1908)

etwas reichlicherer Kalkgehalt der oberen Bodenschicht durch die Humussäuren neutralisiert, soweit nicht die durch die Humusmengen bei Gegenwart von Kalk zunächst in größerer Menge entstehende Kohlensäure schon zu wesentlicher Lösung und Fortführung von Kalk Veranlassung gab.[1]) So kommt es zu saurer Reaktion des Humus und anschließend zur Lösung von Humussubstanzen im Bodenwasser. Dort dagegen, wo entweder hoher Gehalt der oberen Bodenschichten an nicht zu schwer löslichen Basen, wie etwa Kalk und Magnesia, oder geringe Bildung und rasche Zersetzung des Humus — beides wird oft zusammengehen — es nicht zur Ansammlung von saurem Humus auf dem Boden kommen läßt, wird auch Neubildung von Ortstein ausgeschlossen sein. Ebenso selbstverständlich, wo die Abwesenheit von Pflanzen Humusbildung ausschließt.

In der oben besprochenen Weise treten, und das ist der wesentliche Unterschied der eigentlichen Ortsteinbildung gegenüber den bisher besprochenen Erscheinungen der Durchschlämmung von Bodenbestandteilen, die versinkenden Wässer der atmosphärischen Niederschläge nicht nur elektrolytarm, sondern mit prozentisch allerdings nur geringen Mengen von gelösten Humusstoffen beladen, in den Mineralboden ein.

Ihre Wirkung ist demnach nicht nur wie die gewöhnlicher Niederschlagswässer eine auswaschende und durchschlämmende, soweit der Kalkgehalt des Bodens das letztere erlaubt, sondern sie neutralisieren durch ihren Gehalt an Humussäuren basische Bestandteile des Bodens, wirken aus gleichem Grunde zum Teil lösend und vermögen sich dann noch besonders verteilend und als Schutzkolloide zu betätigen. Sie führen so Bodenkolloide in weitestem Umfange, die sonst dem vorhandenen Elektrolyt- oder Wassergehalt entsprechend noch ausgeflockt im Boden verharren würden, in die Solform über und machen sie beweglich.[2]) Wie wir heutzutage in der Technik Tone mit geringen Wasser- und Sodamengen zu Gießschlicker verflüssigen, indem wir durch Humuszusatz für die Gegenwart der nötigen Schutzkolloide sorgen,[3]) so bietet uns auch bei der Ortsteinbildung das Vorhandensein von Humuskolloiden in den versinkenden Wässern die Erklärung für das Beweglichwerden von allerlei Bodenbestandteilen, die sonst an ihrem Platz im Boden ver-

[1]) Vgl. auch R. Albert, Zeitschr. Forst- u. Jagdwes. **42**, 334 (1910); ähnlich schon E. Ramann, Jahrb. preuß. Geol. Landesanstalt 1885, Anhang, 39 (Berlin 1886).

[2]) E. Fickendey, Journ. Landw. **54**, 343 ff. (1906).

[3]) Vgl. z. B. A. Spangenberg, Erkenntnis d. Tongießens, Dissertation (Darmstadt 1910).

harren würden. Dabei handelt es sich um ein Beweglichwerden auch durch geringere Wassermengen. Die sonst zu ihrer Ausflockung genügenden Elektrolytmengen und sonstigen Bedingungen reichen eben nicht mehr dazu aus, wenn Schutzkolloidwirkungen in Betracht kommen.[1]) Hinzu tritt sehr wahrscheinlich eine aufteilende Wirkung des Humus[2]) auf die Bodenkolloide,[3]) welche diese gleichfalls leichter in Lösung gehen läßt, wie oben näher ausgeführt werden konnte.[4]) Es ist durchaus möglich, von dieser Wirkung der Humussäuren zu dem oben[5]) dargestellten Verhalten verwickelter zusammengesetzter organischer Säuren bei der Adsorption engere Beziehungen zu erblicken. Später wird es wichtig sein, dies Gebiet weiter durchzuarbeiten.

Wenn das hinabsinkende Wasser der Niederschläge somit unter dem Einfluß seines Gehaltes an Humusstoffen allerlei Bodenbestandteile in vermehrtem Maße in Lösung[6]) überführt und mit in die Tiefe nimmt, so muß die obere Bodenschicht im Laufe der Zeit merklich daran verarmen. Unter der Schicht von Wald- oder Heidehumus muß demnach zunächst eine mehr oder minder ausgewaschene Mineralbodenschicht folgen, die noch durch einen gewissen Gehalt an Humusbestandteilen auf die wesentliche Ursache der Auswaschung hinweisen wird, der sog. Bleichsand[7]) bzw. Bleicherde, nach dem weißlich-grauen Aussehen benannt.

Diese Farbenänderung des Mineralbodens deutet wieder auf die bei der Auswaschung vor sich gehenden Veränderungen des Bodens hin. Es kommt dabei u. a. auch Eisen in Lösung, ohne daß nun dies als absolut wesentliches Kennzeichen des Vorganges anzusehen wäre.[8]) Uns fesselt hier dieser Vorgang besonders, weil sehr wahrscheinlich das Eisen durch Vermittlung der kolloiden Humussubstanzen in Lösung geht,[9]) wie Eiweißspaltungsprodukte auch als Hilfsmittel zur Herstellung

---

[1]) Auch K. K. Gedroiz vertritt die Anschauung. daß die organischen Stoffe des Bodens, also der Humus, als Schutzkolloid auftreten können. Journ. exp. Ldw. **9**, 290 (1908). Ebenso H. Puchner, Intern. Mittlg. Bodenk. **3**, 232 (1913). G. Fischer stellt für Eisenhydroxyd Schutzwirkung durch Humussol fest, nicht dagegen für Aluminiumhydroxyd. Kühn-Archiv **4**, Sonderdruck, 112, 123 (1914).

[2]) Vgl. z. B. J. K. Neubert, Kolloidchem. Beihefte **4**, 328 (1913).

[3]) Wie in der Regel, so auch hier in weiterem Sinne verstanden.

[4]) Vgl. 126 ff.

[5]) Vgl. oben 301 ff.

[6]) Wirkliche und kolloide. — [7]) auch Bleisand.

[8]) R. Albert, am eben angeführten Ort; dort weitere Literatur.

[9]) Vgl. dazu u. a. auch J. Haas, Journ. Landw. **58**, 141 (1910); G. Schübler Grunds. Agrikulturchemie **2**, 34 (1837).

kolloiden Eisenhydroxyds nach C. Paal dienen.[1]) Daß es sich dabei vorwiegend um eine Schutzwirkung auf kolloides Eisenhydroxydsol handelt, ist sehr wahrscheinlich und auch schon mehrfach behauptet worden. So haben außer mir [2]) noch R. Warington,[3]) R. Albert,[4]) Adolf Mayer[5]) und E. Ramann[6]) diese Ansicht mehr oder weniger klar vertreten. Auch G. J. Mulder [7]) und F. Senft [8]) wären zu nennen. Doch ist meines Wissens noch nicht versucht worden, näher auf den eigentlichen Vorgang dabei einzugehen.[9]) Entscheidende Klarheit darüber kann natürlich nur die Prüfung der Frage durch den Versuch bringen, die freilich nicht wenig Schwierigkeiten bieten dürfte.[10]) Immerhin wäre es vielleicht erwünscht gewesen, wenn die sehr umfangreiche Ortsteinliteratur [11]) mehr in den Spuren von C. Emeis,[12]) eines unserer ältesten, aber nicht geringsten Forscher auf diesem Gebiet, geblieben wäre. Sie hätte dann durch eigene Versuche, die Ortsteinbildung in ihren einzelnen Bildungsstufen künstlich nachzuahmen,[13]) nicht nur wesentlich durch Beobachtung und Untersuchung der Naturvorkommnisse vorwärts zu dringen gesucht, und so unsere Kenntnisse gewiß mehr gefördert.

[1]) The Svedberg, Method. Herst. koll. Lös. (Dresden 1909) 327.

[2]) P. Ehrenberg, Koll.-Zeitschr. **3**, 204 (1908); auch schon Mitteil. landw. Inst. Breslau **4**, 490 (1908).

[3]) R. Warington, Lect. some physic. propers. soil (Oxford 1900) 28.

[4]) R. Albert, Zeitschr. Forst- u. Jagdwes. **42**, 334 (1910).

[5]) Adolf Mayer, Verh. Naturhist.-Mediz. Vereins Heidelberg, n. F., **10**, 3. Heft, Sonderdruck 10 (1910); hier ist die Angabe nicht mit Worten aber dem Sinne nach vorhanden.

[6]) E. Ramann, Bodenkunde, 3. Aufl. (Berlin 1911) 201.

[7]) G. J. Mulder, Chemie d. Ackerkrume, übers. J. Müller **1**, 353 (Berlin 1861).

[8]) F. Senft, Humusbildungen, (Leipzig 1862) 29; derselbe, Steinschutt u. Erdboden, (Berlin 1867), 41, 56, 249.

[9]) Anfänge dazu bei B. Aarnio, Internat. Mitteil. Bodenk. **3**, 134 (1913).

[10]) R. Hornberger, Landw. Versuchsstat. **73**, 221 (1910), versuchte durch Untersuchungen über die Kohlenstoffgehalte der in Betracht kommenden Humussubstanzen diese Verhältnisse aufzuhellen.

[11]) Vgl. dazu die freilich nicht vollständigen Aufzeichnungen bei P. E. Müller, Natürl. Humusform. (Berlin 1887) 247; E. Ramann, Jahrb. preuß. Geolog. Landesanstalt 1885 (Berlin 1886) Anhang, 1, W. Graf zu Leiningen, Abh. d. naturhist. Ges. Nürnberg **19**, I, I u. III (1911).

[12]) C. Emeis, Waldb. Forsch. u. Betracht. (Berlin 1875) 43.

[13]) Nach C. Emeis haben meines Wissens noch A. Mayer, Journ. Landw. **58**, 172 (1903); O. Lemcke, Inauguraldissertation (Münster 1903) 36; wie M. Helbig, Verh. d. Ges. deutsch. Naturf. u. Ärzte Karlsruhe **2**, 1. Hälfte, 287 (1912), in dieser Richtung sich betätigt.

Die Lösung des Eisens durch die Humusstoffe könnte man sich nun entweder so vorstellen, daß man auf der neuerdings[1]) wohl anerkannten Tatsache fußt, daß viele Eisenvorkommnisse im Boden als Gele zu betrachten sind, [2]) und zwar besonders die in den oberen Schichten. [3]) Daß weiter Humussubstanzen auf Eisenverbindungen kolloider Natur schützend zu wirken vermögen, ist auch aus der erdbodenanalytischen Praxis bekannt,[4]) weiter nach Analogie der Wirkung anderer organischer Kolloide auf Eisen[5]) zu erwarten. So könnte man annehmen, daß unter dem Einfluß des elektrolytarmen, humushaltigen, in den Boden hinabsinkenden Wassers das als Kolloidgel im Boden vorhandene Eisen mehr und mehr wieder in den Solzustand übergeht, unterstützt hierbei durch die aufteilende[6]) und in Lösung erhaltende Wirkung des Humus. Man könnte sich aber auch vorstellen, daß unter dem Einfluß der Humussäuren auf Eisenverbindungen im Boden sich zunächst humussaures Eisen bildet, aus dem dann durch Hydrolyse und teilweise Zersetzung der Humussäuren sich Eisenhydroxyd kolloid abscheidet, und nun unter Schutzwirkung seitens der Humusstoffe im Solzustand verbleibt. Endlich ist bekannt, daß die Humusstoffe Neutralsalze zersetzen und aus ihnen die Säuren freimachen. Daher läge die Möglichkeit vor, daß durch die Humusdecke des Bodens Säuren freigemacht werden, die lösend auf die Bestandteile der darunterliegenden Schichten wirken, und dort u. a. das Eisen in lösliches Salz umwandeln, das dann so tief in den Boden hinein zu wandern vermag, als es nicht kohlensauren Kalk antrifft und mit diesem infolge wechselseitiger Umsetzung wieder ausfällt.[7]) Hoffentlich wird dies und so vieles andere, das zur Klärung der Frage der Ortsteinbildung beitragen würde, einmal einzeln experimentell durchgearbeitet. Die vielfach, zuletzt von B. Aarnio wieder erwähnte und durch meiner

[1]) Die ersten Hinweise in dieser Richtung stammen von J. M. van Bemmelen, Landw. Versuchsstat. **35**, 105 ff. (1888).

[2]) H. W. Fischer, Untersuch. Metallhydroxyde, Habilitationsschrift (Breslau 1907); Zeitschr. anorg. Chem. **66**, 37 (1910); F. Cornu und H. Leitmeier, Koll.-Zeitschr. **4**, 91 (1909).

[3]) F. Cornu, Koll.-Zeitschr. **4**, 293 (1909).

[4]) Vgl. als Beispiel B. L. Hartwell und R. S. Kellog, Ann. Report Rhode Island Agricult. Exp. Stat. (1904/05). Ferner Wi. Ostwald, Grundlin. anorgan. Chemie, 2. Aufl. 591 (Leipzig 1904).

[5]) Vgl. z. B. E. Laves, Koll.-Zeitschr. **9**, 254 (1911); A. Schmauß, Physikal. Zeitschr. 1905, 16.

[6]) Vgl. oben 126.

[7]) Auch A. Orth nimmt an, daß kohlensaurer Kalk das In-Lösung-gehen des Eisens im Boden verhindert, vgl. Kalk- und Mergeldüngung (Berlin 1896) 44.

Meinung nach nicht beweiskräftige Handversuche gestützte[1]) Ansicht, daß Reduktion von Ferriverbindungen für die Wanderung des Eisens bei der Ortsteinbildung eine Rolle spiele, möchte ich wegen der Untersuchungen R. Alberts über die Bodenluft,[2]) wie aus anderen Gründen, als unbewiesen ansehen.[3])

Ähnlich wie bei dem Eisen kann sich die Sachlage bei der Tonerde darstellen, die jedenfalls auch durch die hinabsinkenden, elektrolytarmen und humushaltigen Wässer aus dem unter sauren Humusschichten lagernden Boden ausgelaugt und hinabbefördert wird. Doch ist zu beachten, daß sowohl Eisen wie Tonerde schon durch die bereits ihrer Bedeutung nach gewürdigte Durchschlämmung[4]) allein als feinste Bodenteilchen in die Tiefe verlagert werden können. Denn nach J. M. van Bemmelen[5]) sind die hierbei auch in Betracht kommenden Tonteilchen, und nach Th. Schlösing d. Ä.[6]) überhaupt alle mineralischen Bodenteilchen mit Überzügen von Eisenverbindungen versehen, die durch Adsorptionswirkungen und andere Umstände zustande kommen. Ähnliche Beobachtungen machte A. D. Hall[7]), auch E. W. Hilgard[8]) sowie L. Meyn[9]). Da nun die Bodenteilchen, je kleiner sie werden, verhältnismäßig um so größere Oberflächen besitzen, so muß gerade bei sehr feinen Bodenteilchen ein verhältnismäßig hoher Eisengehalt vorhanden sein[10]) und mit ihnen bei Gelegenheit auch in die Tiefe gespült werden.[11]) Ebenso müssen wir ja, wie oben angegeben, Umhüllungen der Bodenteilchen durch Kolloidton annehmen, was zur gleichen Schlußfolgerung für die Tonerde führt. — Endlich kann außer

[1]) B. Aarnio, Internat. Mitteil. Bodenk. **3**, 138 (1913).

[2]) R. Albert, Zeitschr. Forst- u. Jagdwes. **42**, 333 (1910).

[3]) B. Frosterus, Internat. Mitteil. Bodenk. **3**, 110 ff. (1913).

[4]) Auf die Verspülung toniger Bodenbestandteile vom Ober- in den Untergrund wies auch noch G. Reinders, Samenstell. en ontstaan oerbanken (Amsterdam 1889) für unseren Fall hin. Auch K. Glinka, Typen d. Bodenbildung (Berlin 1914) 75, behandelt sie als unter Umständen bedeutungsvoll, weiter G. Rother Inauguraldissertation (Berlin 1912), 27/28.

[5]) J. M. van Bemmelen, Arch. Néerland. Sciences exact. natur. **10**, Reihe II, 236—237 (1905).

[6]) Th. Schlösing d. Ä., Compt. rend. **135**, 601 (1902).

[7]) A. D. Hall, Journ. Chem. Soc., Transact. **85**, Teil II, 957—958 (1904).

[8]) E. W. Hilgard, Soils (Neuyork 1906) 101.

[9]) L. Meyn, Journ. Landw. **7** (10), 343 (1862).

[10]) Vgl. oben 97.

[11]) Dafür, daß die Bleisandschichten größeren Verlust an feinsten Bodenteilchen durch Hinabschlämmung erleiden, sind auch die Arbeiten H. Hesselmans anzuführen; vgl. Meddel. Statens Skogeförsögsanst. **6**, 35 (1909).

den bisher besprochenen Möglichkeiten der Durchschlämmung noch eine weitere zu beachten sein Feinste, feste Teilchen von Humussubstanz, die sich infolge mechanischer Abtrennung von der Hauptmasse, oder auch aus Humuslösungen durch Frost[1]) gebildet haben, werden ebenso wie andere sehr feine Teilchen hinabgeschwemmt werden können. Vielleicht erfordern sie eine etwas stärkere Lockerung des Bodens hierfür, die durch Frost, Pflanzenwachstum, Quellen und Schwinden des Bodens oder ähnlich erfolgen kann. Die Tatsache, daß man über braunem, festeren Ortstein gelegentlich eine schwarze, durch Wasser in Sand und Humusteilchen trennbare Schicht antrifft,[2]) wird besonders so zu erklären sein. Voraussichtlich wird dabei aus dem über dem braunen Ortstein liegenden Bleisand feinstes Humuspulver hinabgewaschen.[3]) Auch bei anderen Gelegenheiten wird man mit dieser Erscheinung zu rechnen haben,[4]) doch dort nur wenig oder gar nicht, wo feinkörniger, kolloidreicher Boden die Humusteile festhält.[5])

Andere Bestandteile der unter dem Humus liegenden Bodenschichten werden teils durch dessen Kohlensäurebildung, vielfach schon, solange er noch nicht saure Eigenschaften angenommen hat,[6]) teils später unter Einwirkung des Humusgehalts im hinabsinkenden Wasser nach unten fortgeführt werden. Daß bei der Auswaschung dieser Schichten einfache wie komplizierte Verwitterungserscheinungen aller Art eine Rolle spielen, indem auch sonst schwer angreifbare Silikate einer allmählichen Umwandlung und dann teilweiser Fortführung unterliegen, wird nicht zu bezweifeln sein,[7]) wenn auch experimentelle Nachprüfung wieder in weiterem Umfange fehlt, als erwünscht ist.[8]) Auch hier wird die Länge der für einen Versuch erforderlichen Zeit ein freilich zu überwinden-

[1]) Adolf Mayer, Journ. Landw. **58**, 186 (1908).

[2]) Kapitän Selmer, vergleiche Chr. Olufsens, Oekon. Annaler **3**, 123 ff. (1802); P. E. Müller a. a. O. 222, 247.

[3]) Auch O. Lemcke, Dissertation (Münster 1903) 34, schließt sich dieser Ansicht an.

[4]) Vgl. die Angaben von P. E. Müller, bes. 187, 264 u. f.; ferner O. Lemcke, Inauguraldissertation (Münster 1903); weiteres bei W. Graf zu Leiningen a. a. O. 27; vielleicht auch bei F. Schucht, Intern. Mitteilg. Bodenk. **3**, 406/7 (1913).

[5]) P. E. Müller a. a. O. 213; W. Graf zu Leiningen a. a. O. 28.

[6]) Also nach P. E. Müller noch „Mull" ist. Vgl. dessen Natürl. Humusform. (Berlin 1887) 68.

[7]) R. Albert, Zeitschr. Forst- u. Jagdwes. **42**, 330 (1910); F. Senft, Humus-, Marsch-, Torf- u. Limonitbildg. (Leipzig 1862) 29 u. a.

[8]) Versuche in dieser Richtung bei H. Niklas, Intern. Mittlg. Bodenk. **2**, 214 (1912).

des[1]) Hindernis für die exakte Untersuchung bilden. Daß Silikatgesteine in saurem Humus zu weißlichen,[2]) weichen Verwitterungsmassen umgewandelt[3]) werden können, ist ja bekannt,[4]) es handelte sich nur darum, diesen Vorgang einmal messend im Versuche zu verfolgen.

Damit wäre die Auswaschung unter dem Einfluß von übergelagertem sauren Humus wohl ausreichend erklärt, und so auch die Bildung von Bleicherden und Bleisanden, mit ihrer zumeist großen Nährstoffarmut.[5])

bb) Die Bildung des Ortsteins.

α. Was ist Ortstein?

Die Vorbedingungen für die Ortsteinbildung wären besprochen, diese selbst wird sich nun ebenfalls als ein ganz erheblich, wenn nicht überwiegend auf kolloidchemischer Grundlage sich abspielender Vorgang erweisen.

Zunächst sei noch darauf hingewiesen, daß eigentlicher Ortstein durch Vermittlung von Humusstoffen verkitteter[6]) Erdboden ist.[7]) Er muß sich in der Regel, mit verdünnten Alkalien behandelt, auflösen und ebenso beim Erhitzen durch Zerstörung seines Bindemittels den

[1]) Schon in der verhältnismäßig kurzen Zeit, welche für die Beobachtung der H. Rimpauschen Moordammkulturen verfügbar ist, konnte eine Zersetzung der im Sande vorhandenen großen Gesteinstrümmer in bedeutendem Umfange beobachtet werden. Vgl. M. Fleischer, Blätt. Moorkultur, Torfverw Meliorationswes. **10**, 627 (1883). Weiter sei auf die Ansichten geologischer Forscher hingewiesen, welche für die Bildung der Kaolinlager Humus- und Moorbildungen als ursächlich ansehen. Vgl. z. B. H. Stremme und H. Rösler, beide in Zeitschr. prakt. Geol. **16**, 122 bzw. 251 (1908). K. Endell, Neues Jahrb. Mineralog., Beil. Bd. **31**, 1 (1910); R. Lang, Jahresh. Ver. Vaterl. Naturk. Württembg, **71**, 119 (1915).

[2]) H. von Post, Landw. Jahrb. **17**, 412 (1888)

[3]) Vgl. auch A. Nikiforoff, Journ. exp. Ldw. **9**, 385 (1908)

[4]) Vgl u. a. L. Meyn, Journ. f. Landw., neue Folge, **7**, 343 (1862); W. Graf zu Leiningen, Abh. Naturhist. Ges. Nürnberg **19**, I, 24 (1911); A. Mayer, Journ. Landw. **58**, 173 (1903).

[5]) Ausnahmen erwähnen von W. Graf zu Leiningen a. a. O. 36 angeführte Forscher.

[6]) Über die dabei gelegentlich erreichte Festigkeit z. B. M. Bräuhäuser und A. Schmidt, Erl. Geol. Spezialkarte Württembg., Bl. Simmersfeld **79**, 56 (1908); M. Bräuhäuser und A. Sauer, Erl. Geol. Spezialkarte Württembg., Bl. Alpirsbach **117**, 108/9 (1913); dort auch zit. M. Münst u. A. Sauer.

[7]) Nicht immer ohne weiteres ein Humussandstein, wie dies E. Ramann, Bodenkunde, 3. Aufl. (Berlin 1911) 204, angibt. Vgl. R. Albert a. a. O. 332; ebenso P. E. Müller, a. a. O. 205.

Zusammenhang verlieren.[1]) Schon vor P. E. Müller, der auch die Übergangsformen des Ortsteins zum Raseneisenstein zu berücksichtigen suchte,[2]) hat u. a. L Meyn[3]) den Ortstein seines Humusgehalts halber scharf vom Raseneisenstein unterschieden.[4]) Aus Zweckmäßigkeitsgründen wird dies aufrecht zu erhalten sein, wenn es auch zweifellos ist, daß allerlei Übergangsformen vorhanden sind, indem eigentlicher Ortstein bei geringer Humusbeimischung weitgehenden Eisengehalt zeigen und so sich mehr oder weniger dem Raseneisenstein nähern kann, während andererseits bei der Bildung dieser Bodenverhärtung wieder die Humussubstanz in der Regel eine gewisse Rolle spielt. Wenn daher auch zur Abgrenzung des eigentlichen Ortsteins die Erklärung: „durch Vermittelung von Humusstoffen verkitteter Boden" als zweckmäßig erscheint, so werden ihr doch Fehler anhaften, wie solche bei Einteilungsversuchen der unendlich mannigfaltigen Naturerscheinungen fast stets auftreten.

β. Die Vorbereitung der Ortsteinbildung.

Um die Ausscheidung der unter dem Einfluß der Humussubstanzen in die Tiefe wandernden Mineralstoffe der oberen Bodenschichten zu verstehen, wollen wir uns an folgendes erinnern. Schon bevor es zur Bildung von saurem Humus aus den auf dem Boden lagernden Pflanzenüberresten kam, reicherten diese durch ihre zunächst noch in den Formen des milden Humus verlaufende Zersetzung die in die Tiefe strömenden Niederschlagswässer stark mit Kohlensäure an und führten dadurch besonders die Auswaschung des kohlensauren Kalks und verwandter Mineralstoffe in ziemlichem Umfange herbei. Dabei ist jedoch ein Unterschied zwischen warmer und kalter Jahreszeit zu machen. Der Sommer wird, mag man auch von der Salpetersäurebildung absehen, durch die Lebenstätigkeit der Pflanzen wie durch Verwesung des Humus reichlich Kohlensäure bilden, so daß die im Sommer in die Tiefe sinkenden Niederschläge mit diesem Lösungsmittel für kohlensauren Kalk stark versehen sind. Aber Wärme und dadurch bedingte Verdunstung aus dem Boden selbst, Auf-

[1]) So schon L. Meyn a. a. O. 345; ferner P. E. Müller a. a. O. 104; A. Mayer, Verh. Naturhist.-Mediz. Vereins Heidelberg, n. F., **10**, 3. Heft, Sonderdruck 3 (1910).

[2]) P. E. Müller a. a. O. 72—77.

[3]) L. Meyn, Journ. Landw., n. F., **7**, 339 (1862).

[4]) Auch E. Chevreuil, zit. nach Th. Schlösing d. Ä., Ann. Chim. Phys. V. Reihe, **2**, 514 (1874) — hat schon früh darauf hingewiesen, daß der Ortstein durch organische, braune Substanz zusammengehalten wird. Weiter A. A. Julien Proc. Amer. Assoc. Adv. Sci. (1879) 311

nahme und Verbrauch durch die Pflanzen, seien es nun Gräser oder Waldbäume oder dgl., diese Umstände bedingen es, daß die Niederschlagswässer auf ihrem Weg in den Boden im Sommer bei uns zumeist nur mäßige Tiefen erreichen werden. Beweisend ist die allgemein bekannte Tatsache, daß Dränagen im Sommer in der Regel nicht laufen. Ferner sei auf die Zahlen der C. von Seelhorstschen Versuche hingewiesen, die z. B. ergeben, daß im beliebig herausgegriffenen Jahre 1907 der pflanzentragende Boden[1]) vom 9. April bis 5. November mit einer unbedeutenden Ausnahme kein Niederschlagswasser in die Tiefe von 1,38 m[2]) gelangen ließ.[3]) Es ist aber durchaus nicht ausgeschlossen, daß auch noch erheblich geringere Tiefen vom hinabsinkenden Wasser nicht erreicht wurden. Für die Zeit von Mai bis August läßt sich dies für Boden, der stärker wasserverbrauchende Pflanzen trägt, ohne weiteres aus den Versuchsergebnissen entnehmen.[4]) Ganz entsprechend wird in der Natur der für die spätere Bildung des Ortsteins in Betracht kommende Boden, der ja entweder Waldbestand oder Heidevegetation trägt,[5]) während der warmen Jahreszeit die Niederschlagswässer nur in mäßige Tiefen versinken lassen. Dabei kommt die Fähigkeit der zu oberst lagernden Humusschicht, Wasser zu speichern und es dem Untergrund vorzuenthalten, noch erheblich mit in Frage. Mit den Niederschlagswässern versinkt der von denselben als Kalziumbikarbonat gelöste Kalk. Das Niederschlagswasser der warmen Jahreszeit wird dabei auf seinem Weg in die Tiefe immer stärker an kohlensaurem Kalk angereichert werden und diesen dann zumeist ungefähr in der Schicht, die es gewöhnlich noch zu erreichen pflegt, absetzen. Dabei ist nun nicht etwa gleich an Bildung von Kalkkonkretionen und verhärteten Schichten zu denken. Solche können ja allerdings unter Umständen durch Kalkauswaschung und Absatz desselben in tieferen Schichten auch, zumal in mehr ariden Gegenden, vorkommen, wie

[1]) Es handelt sich um Lehmboden. Für Sandboden sind leider in den Veröffentlichungen C. von Seelhorsts die Angaben nicht so im einzelnen mitgeteilt, daß man entsprechende Schlüsse ziehen könnte. Vgl. Journ. Landw. **56**, 199 (1908); **58**, 90 (1910). Dafür möge man R. Alberts Mitteilungen heranziehen, Zeitschr. Forst- u. Jagdwes. **42**, 335 (1910).

[2]) C. von Seelhorst, Journ. Landw. **59**, 273 (1911).

[3]) C. von Seelhorst, Journ. Landw. **56**, 196 (1908). Der keine Pflanzen tragende Boden ließ von April bis Anfang November in diese Tiefe jedenfalls auch nur ein Drittel bis ein Viertel der Wassermenge gelangen, die von Mitte Oktober bis Ende März dort erschien.

[4]) C. von Seelhorst a. a. O. 196, der Weizen bzw. Gerste und der Roggen tragende Boden.

[5]) Denn ohne die Pflanzen wäre ja die Ablagerung der den ganzen Vorgang begründenden Humusschicht ausgeschlossen.

E. W. Hilgard nachwies.[1]) In den hier für uns heranzuziehenden Fällen wird indes nur eine Anreicherung der gewöhnlich eben noch von den Sommerniederschlägen bei ihrem Versinken erreichten Tiefen des Untergrundes an Kalziumkarbonat stattfinden, entsprechend dem Verarmen der oberen Bodenschichten.[2]) Es ist dabei sehr wohl möglich, daß sich auch unter dem Einfluß der Adsorption ganz feine Hüllen von kohlensaurem Kalk um die Bodenkörnchen bilden.[3]) Die Winterniederschlagswässer — der Winter hier als die Zeit der ruhenden Vegetation gerechnet — werden zwar gewisse Mengen von Kalk noch tiefer hinab in das Grundwasser, das sie dann seitlich fortführen kann, mit sich nehmen. Doch werden diese meist nicht beträchtlich sein, denn die in der kühlen Jahreszeit fallenden Niederschläge können sich nicht stärker mit Kohlensäure beladen, da sowohl die Atmung der Wurzeln wie die Zersetzung der organischen Massen im Boden dann weitgehend zurücktritt. Auch Bildung von Salpetersäure, soweit es noch bei der allmählich sauer werdenden Reaktion des Humus zu einer solchen kommt, ist auf die Sommermonate beschränkt und führt insofern auch zu einer Anreicherung tieferer Bodenschichten an Kalk, als die Wurzeln aus dem spärlich hinabgeführten Kalziumnitrat die Salpetersäure größtenteils aufnehmen, den Kalk dagegen als Karbonat zum Teil im Boden zurücklassen werden.

So werden wir als bisher besprochene Vorstufen der Ortsteinbildung zu merken haben: Zuerst Pflanzenwachstum und dessen Folge, Ablagerung von pflanzlichen Resten. Diese bedingen auch schon, solange sie noch milden Humus darstellen, eine Verarmung der oberen, eine Anreicherung tieferer Schichten an Kalk und ähnlichen, durch Kohlensäure leicht löslichen Metallsalzen, als deren Vertreter hier immer nur der Kalk erwähnt wird. Hat der Obergrund nur noch geringen Kalkgehalt, so beginnt auch noch während des Bestehens einer „milden Humus"-Decke das Durchschlämmen feinster Bodenteilchen,[4]) die in tieferen Bodenschichten wohl zum Teil

[1]) E. W. Hilgard, Soils (Neuyork 1906) 162. Diese Ausführungen sind ein sehr gutes Beispiel für die oben behandelten Vorgänge, nur daß diese in humiden Gegenden weniger deutlich auftreten werden. Zu beachten ist aber, daß für den pflanzentragenden Boden auch bei uns im Sommer die Niederschläge in der Regel durch die Verdunstung überwogen werden, so daß dann die Feuchtigkeitsverhältnisse die einer ariden Gegend sind. Siehe auch oben 363.

[2]) Vgl. auch A. Emmerling, Arb. Deutsch. Landw.-Gesellsch. **61**, 113 (1901).

[3]) Th. Siegert, Erläut. geolog. Spezialkarte Sachsen, Sekt. Hirschstein, Bl. **32**, 34 (1889).

[4]) Vgl. M. Helbig, Naturwiss. Zeitschr. Forst- u. Landwirtsch. **7**, 82 (1909); M. Bräuhäuser und A. Sauer, Erl. Geol. Spezialkarte Württembg., Bl. Alpirsbach **117**, 109 (1913).

durch die Wirkung des Kalkes sich zusammenballen, zum Teil durch Adsorption in den nicht durch allerlei Umstände gelockerten, im Vergleich mit dem Obergrund wesentlich engeren Kapillaren zurückgehalten werden. Bleibt der Vorgang hierbei stehen und begünstigt Lockerheit des Obergrundes bei hohem Gehalt an feinen Teilen neben anderen Umständen die Durchschlämmung, so erhalten wir den Tonortstein. Andernfalls geht mit der fortschreitenden Verarmung der Oberkrume an Kalk,[1]) wie sie K. Glinka[2]) feststellte, allmählich die Bildung von saurem Humus zusammen, was je nach den Umständen sehr bald oder erst nach langer Zeit der Fall sein kann. Die nun im Wasser sich lösenden Humusstoffe fördern dann die Ausspülung feinster Teilchen stärker, wirken zersetzend auf die oberen Bodenschichten ein und führen steigende Mengen von Mineralstoffen aus ihnen in die Tiefe, wobei ihre Wirkung sowohl chemisch wie als Kolloidschutzwirkung aufzufassen sein wird. Ebenso wird mit der Auswaschung von Kalk und dem Eindringen der Humussäuren und Humuskolloide der Verlust etwa vorher vorhandener Krümelstruktur und enge Aneinanderlagerung des Bodens zusammengehen.[3])

γ. Entstehung des Ortsteins.

Haben nun diese, unter dem Einfluß der in Wasser befindlichen Humusstoffe hinabsinkenden Bodenbestandteile die Grenze der Bodenschichten erreicht, deren Kalkanreicherung[4]) und voraussichtlichen Mehrgehalt an feinen Teilchen wir oben dartun konnten, und für die außerdem im wesentlichen auch mit einer geringeren Auflockerung durch Pflanzenwurzeln, Frost und ähnliche Umstände zu rechnen ist, als für den Obergrund, so müssen hier weitgehende Umsetzungen teils chemischer, teils kolloidchemischer Natur eintreten. Zunächst, und das ist wohl in der Regel die Grundlage der Ortsteinbildung, wird die Humussubstanz durch den Kalk und ähnliche basische Stoffe ausgefällt werden[5]) und damit

[1]) und ähnlichen basischen Stoffen.

[2]) K. Glinka, Typen d. Bodenbildg. (Berlin 1914) 83, teilt mit, daß die sauere Beschaffenheit der wäßrigen Auszüge des Bleichsandes mit der Tiefe abnehme, und daß die Säure nicht von der Anwesenheit freier oder halbgebundener Bikarbonat-Kohlensäure abhängt.

[3]) P. E. Müller a. a. O. 177 ff.

[4]) bzw. jedenfalls höheren Kalkgehalt.

[5]) Vgl. z. B. auch R. Miklauz, Zeitschr. Moorkult. Torfverw. **6**, 325 (1908).

auch ihre Schutzwirkung aufhören.[1]) C. Emeis[2]) vertrat bereits derartige Ansichten. Auch K. Glinka sagt:[3]) „So ist es klar, daß in den Horizonten B (der Ortsteinschicht) aller beschriebenen Böden der Podsolgruppe[4]) das kohlensaure Kalzium als Ursache der Eisenanhäufung anzusehen ist. Das kann durch Versuche im Laboratorium bestätigt werden." – Schon teilweise Ausfällung der Humussubstanzen durch Kalk kann weiter zu anderen Ausfällungen Anlaß geben, da z. B. Humussubstanzen, die in gewisser Konzentration schützend auf Eisenhydroxydkolloid wirken, in anderer Konzentration dasselbe ausfällen,[5]) oder wenigstens nicht mehr schützen. Infolge Aufhörens der Schutzwirkung[6]) wird ein Teil der durch Vermittelung der Humuskolloide hinabgeführten Stoffe also gleichfalls ausfallen, z. B. feinste Sande, auch feinste, feste Humusteilchen, ferner Eisenhydroxyd, das in kolloider Lösung vorhanden war, und ebenso kolloide Tonsubstanz, die weiterhin aber auch durch die Wirkung des Kalks[7]) selbst ausgeflockt werden wird. Wenn, wie oben erwähnt, die Bodenteilchen der tieferen Erdschichten vorher feine Kalkhüllen erhalten haben — oder aber auch, wenn man hiermit nicht rechnen will, durch Adsorption —, wird es dabei zunächst zur Umhüllung der Bodenteilchen mit Humussubstanz, Eisenhydroxydkolloid[8]) u. dgl.

[1]) Es ist ja bekannt, daß die Schutzwirkung auch von der Konzentration der aufeinander wirkenden Kolloide abhängt, so daß schon eine Änderung derselben unter Umständen zur Ausfällung führen kann. Vgl. z. B. R. Zsigmondy, Kolloidchemie (Leipzig 1912) 117, 120.

[2]) C. Emeis, Waldbaul. Forsch. u. Betrachtungen (Berlin 1875) 41.

[3]) K. Glinka, Typen d. Bodenbildg. (Berlin 1914) 99.

[4]) Böden mit ortsteinartiger Verwitterung.

[5]) B. Aarnio, Internat. Mitteil. Bodenk. 3, 134 (1913).

[6]) Für diese lassen sich aus den in der folgenden Anmerkung angeführten Feststellungen K. von Zimmermanns noch Gründe finden.

[7]) K. von Zimmermann, Bildung v. Ortstein (Leipa 1904) 9, schreibt, was hier zu beachten sein dürfte: „Beim Abschlämmen der verkittenden Substanz von den Sandkörnern, welches durch Drücken des Sandes mit dem Pistill unterstützt werden muß, ergibt sich eine wider Erwarten geringe Menge feines Material. Die obere, dunkle Schicht (des Ortsteins) liefert einen sich schwer absetzenden Schlamm von Schokoladefarbe, die untere, bräunliche gibt ein sich prompt absetzendes Schlämmgut von heller Nankinfarbe in klarer Flüssigkeit." Wir sehen hieraus deutlich, daß wirklich der fällende Einfluß von Elektrolyten, wahrscheinlich sowohl direkt, wie indirekt durch Ausflockung schützender Humussubstanz, als maßgebend anzusehen ist. Denn sobald sich die den Ortstein bedingenden, herabgewaschenen Stoffe an der Grenze der unteren, noch nicht an Kalk verarmten Bodenschichten befinden, zeigen sie im Versuch schnelles Absetzen.

[8]) Vgl. z. B. außer bereits genannten Forschern F. Masure, zit. bei Th. Schlösing, Compt. rend. **135**, 601 (1902), der wohl zuerst auf solche Überzüge

kommen, wie solche Hüllen bereits vielfach im Boden nachgewiesen sind.[1]) Th. Schlösing d. Ä.[2]) wies auch darauf hin, daß diese dann die Bodenteilchen aneinander kleben müssen. Hinzu treten wohl auch noch chemische Wirkungen der neutral oder durch hydrolytische Spaltung des Karbonats schwach alkalisch werdenden Bodenlösung. Endlich müssen die sich zunächst mehr oder weniger gallertartig[3]) ausscheidenden Kolloide wie ein Filter auf hinabsinkende Bodenbestandteile wirken und daraus feste Teilchen, wie auch kolloid und kristalloid[4]) gelöste Stoffe festhalten, zunächst vielleicht mehr oder weniger rein adsorptiv,[5]) dann wohl auch vielfach chemisch. Die so entstehende Schicht im Boden wird im Sommer durch Austrocknung, weniger wohl auch durch Alterung allein,[6]) mehr und mehr erhärten,[7]) indem die Kolloide zunehmend ihre Teilchen vergröbern.[8]) Auch ist gewiß nicht zu leugnen, daß bereits die für die Hinabwaschung des Kalkes oben beschriebene Wirkung des Wasserverbrauchs durch Pflanzen und Verdunstung im Sommer auch dem Hinabsinken der Humus-Mineralstofflösungen im Boden eine Grenze setzt und hier Ausscheidungen herbeiführen kann.[9]) Es wurde weiter von N. Sahlbom[10]) nachgewiesen, daß Eisenhydroxydkolloid in Kapillaren, die u. a. von Quarzsand gebildet werden können, bei einer bestimmten Schnelligkeit

der Körnchen hinwies, Th. Schlösing d. Ä. selbst a. a. O. 604; W. Spring, Neues Jahrb. Mineral. **1**, 47 (1899), führt sogar die rote, manche Sande überziehende Farbe auf Humus- und Eisenüberzüge derselben zurück, in denen die Humussubstanz durch langsame Oxydation verschwunden ist.

[1]) A. Emmerling, Agrikulturchem. Unters. (Kiel 1895) 292.

[2]) Th. Schlösing d. Ä., Ann. chim. et phys., (5) **2**, 514 u. f., (1874).

[3]) Vgl. auch E. Ramann, Jahrb. preuß. Geol. Landesanstalt 1885 (Berlin 1886) 43; G. Klien, Königsb. land- u. forstw. Ztg. **15**, 175 (1879).

[4]) Für Phosphorsäure und Kali vgl. man z. B. diesbezüglich die Feststellungen von R. Albert, Zeitschr. Forst- u. Jagdwes. **42**, 331 (1910).

[5]) F. Cornu und M. Lazarevič, Koll.-Zeitschr. **4**, 297 (1909), bezeichnen die Phosphorsäure als zu den am häufigsten durch Eisenhydroxydkolloide im Boden adsorptionsartig gebundenen Stoffen gehörig.

[6]) Wo das Altern allein in Betracht kommt, in nassen Heiden, bildet sich nach E. Ramann nur ein weicher Ortstein. Vgl. auch W. Graf zu Leiningen, Abh. Naturhist. Ges. Nürnberg **19**, I, 5 (1911). Doch ist zu beachten, daß auch andere Umstände an feuchten Orten zur Bildung on weichem Ortstein führen können, so die früher besprochene Durchschlämmung von Humuspulver. Vgl. P. E. Müller, a. a. O. 188, und O. Lemcke, Inauguraldissertation (Münster 1903)

[7]) Vgl. auch G. Klien, Königsb. land- u. forstw. Ztg. **15**, 175 (1879).

[8]) R. Zsigmondy, Kolloidchemie (Leipzig 1912) 162.

[9]) Vgl. R. Albert, a. a. O. 335, wo weitere Literatur.

[10]) N. Sahlbom, Kolloidchem. Beihefte **2**, 85, 99, 107 (1910/11).

der Bewegung infolge von elektrischen Strömungsströmen ausgefällt wird, da es dabei seine Ladung verliert. Ein Zeichen dafür, wieviel kolloidchemische Momente vielleicht hier eine Rolle zu spielen vermögen. Zu weiterer Erhärtung dessen sei darauf hingewiesen, daß Ortstein, aus seiner Lage an die Bodenoberfläche gebracht und dem Frost ausgesetzt, in der Regel sehr rasch zerfällt.[1] Die klebenden, kittenden Humusstoffe werden irreversibel verändert, daneben wirkt der Frost zerteilend auf den Boden.

Daß Kalk und Magnesia entsprechend den hier gegebenen Ausführungen,[2] deren Grundlage übrigens bereits vor nun bald zehn Jahren ausgesprochen wurde,[3] im Bleichsand meist sehr zurücktreten, dagegen im Ortstein in größerer Menge vorhanden sind und nicht selten unmittelbar unter dem Ortstein noch stärker auftreten, beweisen die meisten mir bekannten Analysen.[4] Wenn der Ortstein dabei noch meist weniger

---

[1]) P. Gräbner-O. von Bentheim, Handb. Heidekultur (Leipzig 1904) 198.

[2]) Die übrigens in manchen Teilen weitgehend mit der von A. Emmerling vertretenen Anschauung übereinstimmen; vgl. dessen: Agrikulturchem. Untersuch. (Kiel 1895) 293. Ebenso mit den Ausführungen von A. Bömer und O. Lemcke, Deutsch. Landw. Presse **29**, 761 (1902).

[3]) P. Ehrenberg, Verhandl. Ges. Deutsch. Naturf. u. Ärzte, Köln, **2**, (1), 131 (1909). Auch Koll.-Zeitschr. **3**, 204 (1908). Ähnliche Ansichten bei G. Rother, Inauguraldissertation (Berlin 1912).

[4]) Der Gehalt an Kalk und Magnesia (einige Male Kalk allein), in verhältnismäßig leichter löslicher Form (heiße, konz. Salzsäure), betrug für:

	Bleisand	Ortstein		darunter gelegener Boden	
			tiefere Schicht		noch tiefere Schicht
	%	%	%	%	%
R. Hornberger, Zeitschr. f. Forst- u. Jagdwesen **40**, 94 (1908)	0,027	0,098		0,124	
E. Ramann, Jahrbuch d. k. preuß. Geol. Landesanstalt (1886) 17 I	0,018	0,022		0,037	
II	0,014	0,037		0,036	0,013
III	0,017	0,022	0,025	0,039	
IV	0,013	0,023	0,064	0,099	
V	0,016	0,038	0,036	0,047	
VI	0,018	0,031		0,080	0,101
VII	0,026	0,058		?	
VIII	0,011	0,018	0,066	?	
IX	0,014	0,033		0,065	
X	0,024	0,025		0,042	0,027
R. Albert, Zeitschr. f. Forst- u. Jagdwesen **42**, 341 (1910), Nordhang . .	0,009	0,038		0,116	

Kalk zeigt, als die unter ihm liegende Schicht, so ist dies durchaus erklärlich. Einmal reichert der Boden dort, wo gerade der Ortstein sich bildet,

	Bleisand	Ortstein		darunter gelegener Boden	
			tiefere Schicht		noch tiefere Schicht
	%	%	%	%	%
M. Helbig, Zeitschr. f. Forst- u. Jagdwesen **35**, 273 (1903)	0,059	0,297		0,087	
M. Münst, Mitteil. d. Geol. Abt. d. Württ. Stat. Landesamts **8**, 19 (1910)					
A I	0,015	0,148		0,116	
A II	0,035	0,078		0,047	
A III	0,042	0,061		0,060	
B I	0,216	0,507		0,438	
B II	0,067	0,383		0,432	
O. Lemcke, Inauguraldissertation (Münster 1903) 12ff. I	0,120	0,508		0,222	
III	0,030	0,123	0,219	0,117	
IV	0,083	0,091	0,100	0,124	
(Verschiedene Bestimmungen mußten unberücksichtigt bleiben, weil V3	0,034	0,125		0,095	
entweder eine Analyse des Bleisandes VI1	0,040	0,072		0,057	
nicht vorhanden oder die VI2	0,050	0,010	0,064	0,052	
Humusschicht mit dem Bleisand zusammen analysiert war.)					
O. Lemcke, a. a. O. 26 ff. . . . . B 1	0,064	0,086		0,067	
(Vielleicht nicht hierher gehörig.) B 2	0,277	1,154		0,695	
C. F. A. Tuxen, in P. E. Müllers Natürliche Humusformen (Berlin 1887) 113 ff. IV	0,036	0,087		0,090	
VI	0,026	0,033		0,027	
VII	0,018	0,062		0,060	
Derselbe, ebenda 118, Heidehügel . . .	0,012	0,128		0,079	
Heideebene	0,017	0,012		0,008	
P. Petersen, Bericht über die Tätigkeit der Versuchs- und Kontrollstation der Landwirtschaftskammer f. d. Großh. Oldenburg im Jahre 1904 (1905) . . . . (nur Kalk)	0,060	0,080		0,040	
W. Graf zu Leiningen, Naturw. Zeitschr. Forst. Landw. **10**, 481 (1912).	0,177	0,647		0,750	

Mit Ausnahme einiger Analysen bei M. Münst sind sämtliche angeführten Untersuchungen augenscheinlich ohne Parallelbestimmungen ausgeführt worden.

sich mit allen möglichen Stoffen, nur nicht mit Kalk u. dgl. an, so daß dieser prozentisch zurücktreten muß; dann aber wird, wenn der Ortstein nicht sehr weitgehend für Wasser undurchdringlich ist — und das wird man oft nicht annehmen können —, ständig noch Feuchtigkeit durch ihn, wenn auch nur in geringem Maße, hindurchdringen[1]) und die Auswaschung weiter fortsetzen. Endlich ist, was schon betont wurde, die Bildung des Ortsteins am Beginn der mit Kalk u. dgl. aus dem Obergrunde angereicherten Schichten anzunehmen, so daß durchaus auch unter ihm der Boden noch mit Kalk aus dem Obergrunde angereichert sein kann, unter Umständen sogar mehr.[2]) Die von mancher Seite geäußerte Ansicht, daß Kalk in zu geringer Menge im Boden vorhanden sei, um als Ursache der Ausfällung beim Ortstein angesehen zu werden, rechnet nicht mit der auffallend starken Wirkung geringer Mengen mehrwertiger Ionen auf viele Kolloidsole, zumal bei Abwesenheit von alkalischer Reaktion. Außerdem würde es für die hier vertretene Ansicht genügen, wenn der Kalk den Anstoß zu einer Untergrundverdichtung gibt, die dann ihrerseits weiter auf nachfolgende Anhäufung wirkt.

Durch die ständig fortschreitende Auswaschung des Kalkes u. dgl., die durch Spaltenbildung im Ortstein, verwesende Baumwurzeln, auch durch die nahezu andauernd wirkende, langsame Durchdringung der festen Schicht durch Wasser, das unter ihr die Auswaschung fortsetzt, bedingt sein kann, muß sich der Ortstein in allerdings wohl langer Zeit unter Umständen in die Tiefe hinabbewegen können. Hierbei wird er wohl recht häufig an Dicke und zugleich auch meist an Festigkeit oder wenigstens Dichte zunehmen. Stellen, an denen sich Vertiefungen oder gar Öffnungen im Ortstein gebildet haben, müssen ständig schneller fortschreitend in die Tiefe wachsen, da sie, trichterartig, das Wasser eines größeren Bodenquerschnittes zusammenführen. So bilden sich die sogenannten Ortsteintöpfe.[3])

Es bedarf wohl keiner Erwähnung, daß dies mit den heutigen Anforderungen an exakte Forschung nicht übereinstimmt. Ganz entsprechende Werte bringt noch G. Rothers Inauguraldissertation, (Berlin 1912) 64/5, Profil 1—3, über Ton-Eisenortsteinbildungen in der Mark. Die Ortsteinbänder sind regelmäßig durch wesentlich höhere Kalkgehalte ausgezeichnet.

[1]) Dies auch die Ansicht P. E. Müllers, a. a. O. 205.

[2]) Bezüglich der hier vertretenen Ansichten können auch die Angaben K. von Zimmermanns, Bildung v. Ortstein (Leipa 1904) 6 ff., in mancher Hinsicht zum Beweis herangezogen werden, allerdings in anderer Richtung, als dieser Schriftsteller selbst beabsichtigte.

[3]) P. Gräbner-O. von Bentheim, Handb. Heidekult. (Leipzig 1904) 199.

δ. Die Bedeutung der Pflanzenarten.

Da es sich hier um die Einwirkung der Pflanzen auf die Bodenkolloide handelt, sei außer den bisher gegebenen Ausführungen über Entstehung und Art des Ortsteins noch einiges über die Bedeutung der verschiedenen Pflanzen für seine Entstehung nachgetragen.

Daß die verschiedenen Waldbäume und die Heidepflanzen in wechselnder Weise auf die Bildung von Ortstein hinwirken, ist eine wohl allgemein geteilte Ansicht. So gilt die Eiche auf Lehmboden als gefeit gegen die Hervorrufung von saurem Humus und damit von Ortstein, und auch auf Sand weist sie diese Eigenschaft wenigstens noch häufig auf.[1]) Man könnte annehmen, die einfache Ursache hiervon sei, daß die Eiche sowohl bei unbeeinflußtem Anflug, wie bei Ansiedelung von Menschenhand in der Regel den besseren Boden erhalten,[2]) oder jedenfalls vorwiegend auf diesem ausdauern und freudiges Fortkommen aufweisen wird. So müßte natürlich auch mit dem Auftreten der Eiche die Wahrscheinlichkeit der Ortsteinbildung geringer sein. Doch ist nicht zu bezweifeln, daß auch andere Umstände eine Rolle spielen: der geringere Laubfall, etwa abweichender Wasserbedarf, die andersartige Beschaffenheit und Lagerung der abgestorbenen Blätter, anders geartetes Tierleben wie andere lebende Bodendecke in dem lichteren Eichenwald.[3]) Auch die verschiedene Neigung des Bodens zur Horizontalen, wie nach den verschiedenen Himmelsrichtungen wird in der Natur, wo Einfluß des Menschen wenig einwirkt, nicht nur auf das Vorkommen der verschiedenen Hölzer einen Einfluß ausüben, sondern auch auf die Schnelligkeit der Humuszersetzung, die Ableitung des Wassers und ähnliches. Daß die verschiedenen Bäume und Sträucher auch einen verschiedenen Humus bilden, wurde bereits erwähnt und hat von seiten mancher Forscher besondere Beachtung gefunden. Dabei ist von den Waldbäumen die Fichte im allgemeinen als die wenigst vorteilhafte Humusbildnerin erkannt worden.[4]) Indessen gilt wieder anderen die Buche für den häufiger als Bildner ungünstiger Humusmassen auftretenden Baum.[5]) Jeden-

[1]) P. E. Müller, a. a. O. 132 ff.

[2]) W. Graf zu Leiningen erwähnt, daß z. B. nach R. Biedermann und C. Emeis Lehmbeimischungen in Sandboden das Zustandekommen des Ortsteins hintanhalten. Überhaupt dauert es offenbar auf besseren Böden, wenn auch die Bedingungen für das Entstehen von Ortstein vorhanden sind, viel länger, bis die Bildung zustande kommt, auch beobachten wir die Bildung von wirklich kennzeichnendem Ortstein seltener. Vgl. W. Graf zu Leiningen, a. a. O. 40—42.

[3]) Vgl. auch dazu P. E. Müller, a. a. O. 155.

[4]) E. Ramann, Zeitschr. Forst- Jagdwes. **30**, 474 (1898).

[5]) W. Graf zu Leiningen, a. a. O. 12; P. E. Müller, a. a. O. 161.

falls erscheint Laubholz weniger nachteilig als Nadelwald.[1]) Und während das Heidekraut von verschiedenen Seiten als sehr schädlich bezeichnet wird,[2]) hält W. Graf zu Leiningen die ihm zugeschriebenen Nachteile für erheblich übertrieben.[3]) Weiter wird, und gewiß mit Recht, auch die Art der Waldnutzung und Bewirtschaftung als für die Ortsteinbildung bedeutungsvoll angesehen,[4]) was ja schon mit Rücksicht auf den oben erwähnten Schutz des Bodens vor direktem Regen einleuchtet. Das vermag vielleicht, im Verein mit der Bodenverschiedenheit, die soeben hervorgehobenen Widersprüche[5]) zu erklären. Ob es dazu noch erforderlich erscheint, Bildung verschiedenartiger Humussole aus dem von den verschiedenen Gewächsen gebildeten Humus heranzuziehen,[6]) mag verschieden beurteilt werden. Irgendwelche genaueren Kenntnisse auf diesem Gebiet würde nur der von abgepflückten, fallreifen Blättern der verschiedenen Pflanzenarten ausgehende Versuch schaffen können. Denn Feststellungen mit dem in der Natur aufgefundenen Humus würden kaum ermöglichen, etwa gefundene Unterschiede auf die vielen Umstände, die bei der Bildung mitgewirkt haben können, richtig zu verteilen.

Haben wir so erfahren, daß der Grund der Ortsteinbildung wesentlich in der Vegetation und der unerwünscht verlaufenden Zersetzung ihrer Überreste zu suchen ist, vielleicht des weiteren noch nachgetragen, daß auch Ortsteinbildungen mit verhältnismäßig wenig dunkel gefärbtem Humusbindemittel vorkommen,[7]) so mag zu einem

[1]) M. Bräuhäuser und A. Sauer, Erl. Geol. Spezialkarte Württembg., Bl. Alpirsbach **117**, 111 (1913); A. Sauer, Jahresh. Ver. vaterl. Naturk. Württemb. **61**, XI (1905).

[2]) P. E. Müller, a. a. O. 161; C. Emeis, Waldbaul. Forsch. Betracht. (Berlin 1875) 36—37; M. Bräuhäuser und A. Sauer, a. a. O.

[3]) W. Graf zu Leiningen, a. a. O. 12.

[4]) Näheres bei W. Graf zu Leiningen, a. a. O. 16; C. Ramm, Waldbaul. Zukunft (Tübingen 1912); M. Bräuhäuser und A. Sauer, a. a. O. 110, 112; M. Münst, Mittlg. Geol. Abt. Württembg. Stat. Landesamts, **8**, 49 (1910). u. anderen Forschern.

[5]) Vgl. solche in der Literatur z. B. bei R. Albert, Zeitschr. f. Forst- u. Jagdwesen **44**, 137—138 (1912).

[6]) Vgl. M. Helbig, auch W. Graf zu Leiningen. Bei diesem a. a. O. 12.

[7]) Aus den vorhandenen Angaben, die W. Graf zu Leiningen, a. a. O. 1, zusammenstellt, möchte man annehmen, daß in solchen Fällen die Ursache der Humusausfällung und damit der Ortsteinbildung nicht Vorhandensein von Kalk oder anderen Basen, sondern Austrocknung gewesen ist. Denn basische Stoffe verursachen Dunkelfärbung der Humusstoffe, verbunden mit Sauerstoffaufnahme. Doch könnte auch in der Tiefe des Bodens vielleicht der Sauerstoff gefehlt haben.

ebenfalls wenigstens zum Teil durch Pflanzen bedingten, der Ortsteinbildung in mancher Hinsicht ähnlichen Kolloidvorgang im Boden übergegangen sein.

e) Der Knick.

aa) Allgemeines.

α. Was ist Knick?

Der „Knick", weiter als „Dwog" bezeichnet,[1]) obwohl auch Unterschiede zwischen beiden Bodenarten gemacht wurden, wie endlich auch als „Stört",[2]) spielt in den Marschen seit Jahrzehnten, wahrscheinlich sogar seit Jahrhunderten eine erhebliche Rolle und hat auch bereits mancherlei Beachtung durch die Wissenschaft gefunden, wenngleich von vier neuzeitlichen Lehrbüchern der Bodenkunde drei nicht einmal das Wort selbst, noch weniger natürlich nähere Angaben darüber bringen,[3]) während das vierte wenigstens in einem Satz darauf eingeht.[4]) So kann es nicht wunder nehmen, daß anderen Orts immer noch der Knick, eine eisenschüssige Verhärtung des Bodens, mit der sich auch in den Marschen findenden, für Pflanzen giftigen „Pulvererde" verwechselt wird,[5]) obwohl bereits H. Schulze vor einem halben Jahrhundert[6]) darauf hinwies, daß „beide sowohl ihrer geologischen Entstehung, wie ihrer chemischen Zusammensetzung nach, voneinander gänzlich abweichen."[7]) Ich will dies bezüglich der Entstehung weniger behaupten, wohl aber, was die chemische Zusammensetzung zumal des braunen Knicks gegenüber der Pulvererde anbetrifft.

Der Knick stellt sich uns als eine nicht besonders tief — oft nur 1 Fuß[8]) — unter der Oberfläche des guten Marschbodens gelegene, sehr

[1]) K. Virchow, Landw. Jahrb. **9**, 1014 (1880). Dort zit. auch H. Allmers, Marschenbuch (Gotha 1858) und Köpke, Mittlg. Prov. Landw. Ver. Bremervörde (Stade 1878).

[2]) A. Stöckhardt, Chemische Ackersmann **12**, 100, 102 (1866).

[3]) Nämlich A. Mayer, Bodenkunde, 7. Aufl. (Heidelberg 1914); A. Mitscherlich, Bodenkunde, 2. Aufl. (Berlin 1913), und E. Ramann, Bodenkunde, 3. Aufl. (Berlin 1911).

[4]) M. Fleischer, Bodenkunde, in Ch. A. Voglers Grundl. Kulturtechnik, 4. Aufl. **1**, I (Berlin 1909).

[5]) J. Struve, Fühlings landw. Ztg. **50**, 786 (1901).

[6]) H. Schulze, Journ. Landw., n. F., **1**, 191 (1866).

[7]) Die Pulvererde reagiert auch nach Verkohlung der Humussubstanz scharf sauer.

[8]) Es muß auch oft weniger sein, da mehrfach davon die Rede ist, daß man sich vor Aufpflügen des Knicks ängstlich hüte bzw. davon, daß solcher durch den Pflug emporgebracht sei und Nachteile bedingt habe; z. B. H. Almers, Marschenbuch (Gotha 1858) 55

zusammenhängende und in trockenem Zustande fast steinharte Erdschicht dar, die weder Wasser[1]) noch Wurzeln hindurchläßt.[2]) Nach alter Anschauung soll der Knick sich dadurch gebildet haben, daß das Weidevieh bei feuchtem Wetter den nassen Boden zertreten und so besonders den nicht ganz so aufgeweichten tieferen Schichten geschadet hätte.[3]) Unzweifelhaft werden wir mit dieser Erklärung nicht auskommen, doch mag am Ende ein Körnchen Wahrheit auch hierin sich finden. Das gleiche wird vielleicht für die weitere, volkstümliche Erklärung gelten, daß Meerwasserüberschwemmungen mit der Bildung des Knicks zusammenzubringen seien.[4])

Daß der Knick[5]) nicht seiner chemischen Beschaffenheit nach pflanzenschädlich ist, bewies bereits W. Wicke,[6]) und gab durchaus richtig einen Hinweis auf das physikalische Verhalten desselben als Ursache seiner ungünstigen Wirkung.

β. Kalkverluste des Marschbodens.

Sehr wichtig für die Feststellung der Bildung des Knicks erscheint die einmütig gemachte Angabe, daß er sich nur in den alten Marschländern, nicht auf jungen Poldern und Groden findet.[7]) Dazu muß man die Tatsache in Vergleich stellen, daß das Marschland, wie übrigens auch die Dünensande,[8]) und weiter jeder andere Boden in humidem Klima,[9]) einer fortschreitenden Verwitterung und Auswaschung unterliegt, die sich nicht zum wenigsten auf den Kalk erstreckt und für ihn auch festgestellt werden konnte. Bei niedriger Lage und unzureichender Entwässerung wird auch Basenaustausch gegen das Meerwasser zur Fortführung des Kalkes beigetragen haben, während Magnesium zurück-

[1]) Daher hält auch P. Petersen, Ber. Tätigk. Versuchsstat. Oldenburg (1904) 21—22, das Dränieren solchen Bodens für zwecklos.

[2]) F. Arends, Ostfriesland u. Jever (Emden 1818) **1**, 32.

[3]) Nach: Gemeine Nachrichten **2**, 43.

[4]) W. Wicke, Journ. Landw., n. F. **7**, 383 (1862); neue, aber wohl kaum ausreichende Ansichten zur Knickbildung bei C. Marquis, Intern. Mittlg. Bodenk. **5**, 386 (1915).

[5]) d. h. der jetzt häufigere braune Knick. — [6]) Vgl. W. Wicke a. a. O.

[7]) W. Wicke, a. a. O. 385, und briefliche Angabe von Oberregierungsrat Hofmeister, ebendort 387. Neuerdings von K. Tantzen bestätigt. Inauguraldissertation (Berlin 1912) 47.

[8]) F. Schucht, Intern. Mittlg. Bodenk. **2**, 498/500. (1912).

[9]) Z. B. W. Meigen u. H. G. Schering, Mittlg. Großh. Bad. Geol. Landesanst. **7**, 643 (1914); M. Bräuhäuser, Erl. Geol. Spezialkarte Württembg., Bl Friedrichshafen-Oberteuringen **179/174**, 106 (1915).

blieb, wie schon Forchhammer ausführte,[1]) ebenso das wesentlich bedenklichere Natrium. Entsprechend der ungefähren Dauer der Auswaschung — und natürlich auch Ausbeutung durch landwirtschaftliche Nutzung; Feldwege und unbebaute Ländereien werden z. B. langsamer entkalkt als das Ackerland,[2]) wo Entzug der Nährsalze durch die Pflanzen, Lockerung, wohl auch Anwendung von Stalldünger u. dgl. besonders wirken —, stellt sich der Kalkgehalt des Marschlandes niedriger. J. M. van Bemmelen berechnete zuerst, daß aus frisch eingedeichten Seemarschböden in 20 bis 25 Jahren 1% kohlensaurer Kalk ausgelaugt wird.[3]) Er erhielt nämlich folgende Werte:

Name des Stückes	Zeit seit der Bedeichung	Gehalt an Kalk %
Kwelder	noch unbedeicht	6,5
Finsterwolderpolder	40 Jahre	5,65
Oostwolderpolder	90 Jahre	4,63
Nieuwlandpolder	148 Jahre	3,14
Oud Nieuwlandpolder	194 Jahre	1,68
Oudlandpolder	233 Jahre	1
Zwaagpolder	262 Jahre	1
Eindeichung bei Blyham	noch älter, üb. 300 Jahre	0,9

Vom Oudlandpolder an enthalten die alten Marschböden keine Kohlensäure mehr, den Kalk also als Silikat beziehungsweise Humat. Dabei ist noch zu beachten, daß die besonders in jüngeren, marinen Böden in großer Menge auftretenden Muschelschalen sich erst ganz allmählich auflösen,[4]) und dadurch die völlige Entkalkung des Bodens sehr weit hinausschieben.

Von M. Märcker sind dann später diese Untersuchungen für deutsche Marschböden wiederholt worden, wobei sich z. B. ergab:[5])

Name des Stückes	Jahr der Bedeichung	Gehalt an Kalk %
Blauhandter Groden	1659	2,27
Ellenserdammer Groden	1732	3,87
Friedrich-August-Groden	1780	4,88
Adelheids Groden	1822	5,16
Peters Groden	1852	5,28

[1]) Forchhammer, Naturforscherversammlung Kiel, 1847, zit. bei A. Stöckhardt, Chem. Ackersmann 12, 100 (1866).

[2]) D. Wildvang, Alluvium zwischen d. Ley (Aurich 1915) 53/54; ders. Reiderland, (Aurich 1920) 143/148.

[3]) J. M. van Bemmelen, Landw. Versuchsstat. 8, 259, 285 (1866).

[4]) D. Wildvang, Alluvium 54.

[5]) M. Märcker, Zusammens. u. Düngerbedürfn. Oldenb. Marscherde (Berlin 1896).

J. Struve weiß auf Grund der Untersuchungen A. Emmerlings ebenfalls zu melden,[1]) daß als Ackerland benutzte junge Seemarschböden 1,073% aufwiesen, ebenso verwendete ältere Seemarschböden aber nur 0,634% Kalk. Er gibt auch sonst Beispiele für die Auswaschung des Kalks.[2])[3])

F. Schucht teilt ähnlich[4]) mit, daß der

Name des Stückes	Bedeicht vor	Entkalkt[5]) ist bis auf eine Tiefe von cm:
Golzwarder Groden	310 Jahren	20—30
Hoben- und Wurpegroden	reichlich 300 Jahren	20—30
Groden westlich Midogge	330 Jahren	30
Marsch westlich Tossenserdeich	368 Jahren	20 im Mittel
Marsch westlich Sürwürden	fast 400 Jahren	50
Marsch am Ruhwarder Groden	schätzungsweise 800 Jahren	80
Marsch bei Eckwarden, älteste von Butjadingen	schätzungsweise 1350 Jahren	150

Als allgemein wichtig seien noch zwei Tatsachen erwähnt: Zunächst zur Entkalkung des Bodens: A. D. Hall und N. H. J. Miller[6]) rechnen mit einem jährlichen Verlust an kohlensaurem Kalk durch Auswaschung für England und Wales von 560 kg auf den Hektar im allgemeinen und für die bebauten englischen Flächen von 896—1120 kg. Auch der Boden der russischen Schwarzerde, der sonst mit dem Marschland nichts gemein hat, ist bis in tiefe Schichten weitgehend entkalkt.[7]) Hier aber wirkt die auch sonst, wo die Vegetation nicht ganz oder teilweise genutzt und so dem Boden entzogen wird, sehr wichtige Tatsache des „Hinaufpumpens" mineralischer Stoffe durch die Pflanzen ergänzend.[8]) Das kann natürlich

---

[1]) J. Struve, Fühlings landw. Ztg. **50**, 759 (1901).

[2]) J. Struve, Arbeit. Deutsch. Landw.-Gesellsch. **61**, 113 (1901).

[3]) A. Emmerling, Agrikulturchem. Untersuch., Festschrift (Kiel 1895) 66.

[4]) F. Schucht, Beitr. Geolog. Wesermarschen (Stuttgart 1903) 34, 40, 47, 56. Auch W. Wicke, Journ. Landw., n. F., **7**, 381 (1862), teilt mit, daß der Knick schwach alkalisch, die darunterliegende Wühlerde stark alkalisch reagiere, was ja auch wohl zur Entkalkung paßt.

[5]) Es bleibt meist nur noch humussaurer und kieselsaurer Kalk zurück; vgl. z. B. auch A. Orth, Ber. Deutsch. chem. Ges. **15** 3029 (1882).

[6]) A. D. Hall und N. H. J. Miller, Proc. Roy. Soc. **77**, B, 1 (1905).

[7]) P. Kossowitsch, Schwarzerde (Berlin 1912) 78/79.

[8]) Derselbe, a. a. O. 80.

nur dort der Fall sein, wo die Vegetation reich, ihre Pflanzennährstoffe (z. B. Ca, Mg, K) aus der Tiefe des Bodens emporpumpende Wirkung also stark, und die Auslaugung des Bodens nur schwach ist. Hält sich beides die Wage, so wird keine ausgesprochen saure oder alkalische Reaktion des Bodens trotz bestehender Auswaschung der Karbonate eintreten, und damit auch keine Wanderung der feinsten Teilchen, des Eisenhydroxyds und der Tonerde.

bb) Besonderes.

α. Durchschlämmung.

Naturgemäß muß sich an diese Entkalkung eine Durchschlämmung feinster Teilchen anschließen, die wohl nur deshalb nicht einen besonders auffälligen Charakter angenommen hat, weil der Boden der Marsch in der Regel[1]) durch die Verwendung als Weideland den Schutz einer Grasdecke genießt. K. Tantzen tritt auf Grund seiner Untersuchungen[2]) und

[1]) Doch nicht immer. Vgl. z. B. I. Dykema, Proeve van eene geschiedenis der Landhuishouding en Beschaving in de provincie Groningen **1**, 394.

[2]) K. Tantzen, a. a. O.

Boden	Tiefe bis:	Abschlämmbare Teile nach Schlösing %	Kalk %
a. a. O. 42. Bestes uraltes Weideland:			
Ackererde	30 cm	28,92	0,36
Lehmiger Knick	1 m	28,16	0,33
Toniger Knick	1,7 m	66,20	0,76
Lehmige „Wühlerde“	2 m	42,08	1,26
a. a. O. 43. Sehr gutes neueres Weideland:			
Tonige Bauerde	30 cm	63,30	0,58
Lehmiger Knick	1,4 m	38,41	0,43
Toniger Knick	1,7 m	90,54	0,87
Tonige „Wühlerde“	2 m	73,28	1,94
Nach K. Virchow, Landw. Jahrb. **9**, 1014 (1880):			
(Dwog) Knick a	—	—	0,13
(Dwog) Knick b	—	—	0,83
Nach A. Stöckhardt, Chem. Ackersmann **12**, 102 (1866): Inmarkland (ältestes Marschland):			
Ackerkrume	—	—	0,42
(Stört) Knick (überaus zäh) darunter	—	—	0,21
Schwerstes Kleiland (mittelaltes Marschland):			
Ackerkrume	—	—	0,39
Strengster (Stört) Knick darunter	—	—	0,36
Mildes Kleiland (mittelaltes Marschland):			
Ackerkrume	—	—	0,59
Milder (Stört) Knick darunter	—	—	0,87

seiner Beobachtungen, wie auch der Mitteilungen, die ihm im Lande geworden sind, jedenfalls für das Vorkommen solcher Auswaschung[1]) ein, und man kann sowohl aus theoretischen Gründen wie im Vergleich mit dem oben über die Durchschlämmung Angeführten ihm beistimmen. Dazu seien noch Angaben A. Emmerlings[2]) und A. Orths[3]) erwähnt.

Schwierigkeiten in der Erklärung der Knickvorkommnisse unter Heranziehung der beiden soeben geschilderten Grundtatsachen, der Entkalkung und der Durchspülung, bietet nun einmal die verschiedene Tiefe der Knickablagerung, die zum Teil unmittelbar unter der Ackerkrume, dieselbe wohl noch erreichend, zum Teil aber auch in einer Tiefe von 60 bis 130 cm Tiefe festgestellt[4]) wird und so eine bunte Mannigfaltigkeit darbietet. Selbst in einer Tiefe von über zwei Meter kommen Bodenarten vor, die alle charakteristischen Eigenschaften des Knicks aufweisen.[5]) Dann ist weiter der verschiedenen Färbung des Knicks zu gedenken, der als brauner, grauer und endlich als der vor allem gefürchtete „blaue" Knick[6]) bezeichnet wird.

Die Tiefenlage kann durch die beachtenswerten Darlegungen von D. Wildvang leicht erklärt werden. Wo nämlich eine Durchschlämmung in derartige Tiefen hinab unwahrscheinlich ist und wohl auch noch höhere Kalkgehalte der überliegenden Schichten gegen die Kalkarmut des in der Tiefe liegenden Knicks abstechen,[7]) dürften wir es mit einem Bodenzustand zu tun haben, der in früheren, unter Umständen eine Anzahl Jahrtausende oder wenigstens eine Reihe von Jahrhunderten zurückliegenden Zeiten in höheren Bodenschichten gebildet und dann mit Erde überlagert worden ist. Da diese tiefgelegenen Knickschichten hellblau gefärbt sind, so wird man mit Wildvang richtig urteilen, wenn man eine nachträgliche Reduktion des ursprünglich vermutlich braun gefärbt gewesenen Knicks durch die bei Luftabschluß vor sich gegangenen Zersetzungsvorgänge organischer Bodenbestandteile annimmt. Gelegentlich mag auch freilich Knick überlagert worden sein, der, wie wir sehen werden, die blaue Farbe noch von seiner Entstehung her besaß.

---

[1]) K. Tantzen, Dissertation (Berlin 1912) 32.

[2]) A. Emmerling, Arbeit. Deutsch. Landw.-Ges. 61, 115 (Berlin 1901).

[3]) Er fand Ber. Deutsch. Chem. Ges. 15, 3027 (1882), daß sich Bodenteilchen mit einem Durchmesser unter 0,01 mm fanden: in der Ackerkrume 0,2 m tief 10,7%, im Untergrund, weitere 0,4 m tief 11,1%, im darauffolgenden Lehm, weitere 0,4 m tief 26,9%, im darauffolgenden oberen Geschiebemergel, weitere 1,5 m tief 21%. Es ergibt sich somit eine deutliche Verminderung der feinsten Bodenteilchen in den beiden oberen und ihre Anhäufung in der dann folgenden Schicht. Entsprechend war auch eine Entkalkung der oberen Schichten vorhanden.

[4]) D. Wildvang, Alluvium zwischen d. Ley (Aurich 1915) 204—206.

[5]) Ebenda 56. A. Stöckhardt, Chem. Ackersmann 12, 102 (1866).

[6]) Teils bläulichgrau, teils rötlichgrau. Vgl. A. Stöckhardt, a. a. O.

[7]) D. Wildvang, a. a. O. 55/56.

Was nun die Entstehung des nicht derart tief verdeckten Knicks anbelangt, oder die des später mit neuem Boden überlagerten zu der Zeit, als der letztgenannte Vorgang noch nicht in Erscheinung getreten war, so sei dafür die Frage der Durchschlämmung noch einmal aufgenommen. Wo es im Gefolge der Entkalkung lediglich zur Hinabwaschung feinster Teilchen ohne Bildung von Eisenkonkretionen gekommen ist, dürfte die sog. „Tweierde" vorliegen.[1]) Auch diese zeigt gegenüber der darüberliegenden Acker- bzw. Weidekrume erhebliches Ansteigen der feinsten Teile.[2]) Dafür, daß hierbei, wie überhaupt beim Knick, das Durchschlämmen feinster Teilchen eine erhebliche Rolle spielt, bietet uns eine Beobachtung von F. A. Fallou,[3]) die dann von J. M. van Bemmelen[4]) wieder aufgenommen wurde, einen Beweis. Knickboden, unter Wasser aufgeschlämmt, senkt sich nämlich äußerst langsam zu Boden,[5]) wogegen dies bei Dollard- und guten Meerestonen viel rascher stattfindet. Dazu paßt die starke Bindigkeit des Knicks, die oft betont wird.[6]) J. M. van Bemmelen weist bereits darauf hin, daß hierfür die Kalkarmut des Knicks verantwortlich zu machen sei. Wie aber dessen Bodenteilchen sich im Wasser leicht in eine Aufschwemmung überführen lassen, so werden sie es auch in natürlicher Lagerung getan haben und derart im Boden hinabgewandert sein, bis sie durch dichtere Schichten, gelegentlich auch steigenden Kalkgehalt,[7]) aufgehalten wurden. Es ist sehr möglich, daß für ein stärkeres Durchschlämmen auch wieder die Lockerung der oberen Bodenschichten durch Austrocknen und Wiederbefeuchtung, durch Frost und Pflanzenwuchs u. dgl. eine Rolle spielt, wie ganz besonders die krümelvernichtende, den Boden aufschlämmende Wirkung der Meerwasserüberschwemmung[8]) bedeutungsvoll gewirkt haben wird, wenn Sturmfluten stattfanden.

Beachtet sei noch, daß in dem schweren Marschboden das Durchschlämmen voraussichtlich nur langsam vor sich gehen kann. Rascher wird es in leichterem, an Feinsand reichem Marschland eingetreten sein.[9])

---

[1]) H. Gruner, Marschbild. deutsch. Nordseeküsten 34; 91/93 (Berlin 1913).

[2]) Ders. ebenda 92.

[3]) F. A. Fallon, Pedologie (Dresden 1862) 408/9.

[4]) J. M. van Bemmelen, Landw. Versuchsstat. 8, 264 u 299 (1866).

[5]) Das mit Knick aufgeschlämmte Wasser bleibt viele Tage lang trübe.

[6]) J. M. van Bemmelen, a. a. O. 264; A. Sander, Journ. Landw. n. F. **6**, 251/253 (1861) bringt weitere Mitteilungen hierzu, denn die von ihm untersuchte „Pulvererde" würde, da sie vielfach sogar noch kohlensauren Kalk enthielt, besser als „Knick" bezeichnet worden sein. Ferner A. Stöckhardt, Chem. Ackersmann **12**, 95, 100, 103/104 (1866).

[7]) D. Wildvang, Alluvium zwischen der Ley (Aurich 1915) 205.

[8]) Vgl. oben 334 u. f.

[9]) D. Wildvang, a. a. O. 205.

Das Auftreten des Knicks ist, soweit es sich nicht um überlagerte Vorkommnisse handelt, demnach an alte Marschländereien gebunden, die zumeist erheblich entkalkt[1]) sind und ihren geringen Kalkvorrat nur noch als Silikat oder Humat führen.[2]) Zweitens kennzeichnet den Knick das Auftreten von viel feinsten Bestandteilen, die wir zum guten Teil als von oben hinabgeschlämmt ansehen dürfen.

Eisenverhärtungen. I. Der Eisenschuß.

Dem oberflächlich prüfenden Auge fällt beim Knick besonders der Reichtum an Flecken und Verhärtungen, Konkretionen von Eisenoxydhydrat auf, die im Bodenprofil geradezu den Eindruck machen, als sei mit den kleinen Eisengebilden in den Boden hineingeschossen worden. Dieser ist „eisenschüssig" im wahren Sinne des Wortes. Diese Bildungen finden sich in jeder Höhenschicht des Knicks, meist am stärksten in der Tiefe.[3]) Doch ist, von dieser Anhäufung von Eisen an einzelnen Stellen abgesehen, der Eisengehalt des Knicks nicht so viel höher, als in gutem Marschboden, etwa Dollardton, und der Unterschied besteht vielmehr darin, daß im Knick das Eisen grob ausgeschieden und für das Auge sichtbar ist, in Dollard- und anderen Tonen dagegen mehr in den Silikaten gebunden.[4]) Im Knick tritt dann das Eisen noch in Form von Adern auf, welche dem Verlauf der Wurzeln und Bodenspalten folgen und ihn so gewissermaßen darstellen.[5]) Zunächst sei aber die Entstehung des Eisenschusses erklärt:

Diese Eisenkonkretionen werden sich meiner Ansicht nach wesentlich auf Ländereien mit stagnierender Feuchtigkeit gebildet haben,[6]) nachdem Entkalkung und Durchspülung, damit also Bildung von Tweierde, schon vor sich gegangen war. Wo wir sie auf trockenem Boden finden, wie zu-

[1]) F. Senft, Steinschutt u. Erdboden (Berlin 1867) 323, stellte fest, daß er den Knick nie in einem kalkhaltigen Boden angetroffen habe. A. Stöckhardt gibt an, daß im ältesten Marschland 3—4 Fuß tief ein überaus zäher Knick („Stört") liegt. Bei mittelaltem Marschland ist er weniger hart. Chem. Ackersmann 12, 103 (1866).

[2]) W. Wicke, Journ. Landw., n. F. 7, 387 (1862), fand im Knick 0,90% Kalk, dagegen in der darunter befindlichen Wühlerde 5,34%. Ähnliche Zahlen bei A. Stöckhardt, Chem. Ackersmann 12, 102 (1866). Gelegentlich, wenn ein Teil des Kalkes nicht ausgewaschen, sondern nur in den Untergrund hinabgewaschen ist, kommt es auch zur Abscheidung von Knick in solchen kalkangereicherten Schichten, und demgemäß zu höherem Kalkgehalt des Knicks selber. Vgl. D. Wildvang, Alluvium zwischen d. Ley (Aurich 1915) 53, 57, 205.

[3]) W. Wicke, a. a. O. 384; F. Senft, a. a. O.; J. M. van Bemmelen, Landw. Versuchsstat. 8, 264 (1866); K Tantzen, a. a. O. 31.

[4]) J. M. van Bemmelen, a. a. O.

[5]) F. Schucht, Journ. Landw. 53, 326 (1905); A. Stöckhardt, a. a. O. 95.

[6]) Wenigstens in gewisser Hinsicht verwandte Fälle dürfte, auch von versumpften Ländereien, B. Frosterus in den „Gley"böden schildern. Intern. Mittlg. Bodenk. 3, 129 (1913).

meist jetzt, war früher einmal, vielleicht nur zeitweise, das Land zu feucht, vermutlich infolge von in diesen Gegenden ja nicht seltenen Senkungen.[1]) Viele Flächen, in den Niederlanden als „Meeden" bezeichnet, haben seit Jahrhunderten unter den Folgen einer schlechten Entwässerung gelitten[2]) und konnten daher nur als Heuland genutzt werden. Im Winter standen sie unter Wasser,[3]) viele trugen nur Binsen und Sauergräser. Erst die fortschreitende Verbesserung der Entwässerung hat sie von der Winterüberschwemmung befreit[4]) und ihre weitergehende Benutzung als Acker- oder besseres Weideland ermöglicht, womit dann auch das Verschwinden der vorher sauren Reaktion[5]) in der eigentlichen Krumenschicht Hand in Hand ging. Vorher enthielt diese merklich kohlensaures Eisenoxydul,[6]) dessen Auftreten nach Auslaugung des Kalkes kein Wunder nehmen kann. Es wird dabei die sauere, in Wasser sich kolloid lösende Humussubstanz noch doppelte Wirkung ausüben: einmal durch Schutzwirkung zur Bildung kolloiden Ferrokarbonats beitragen, das bereits J. M. van Bemmelen besprach,[7]) dann aber in der Zeit, während welcher der unter Wasser stehende Boden von der Luft abgeschnitten ist, auf Entstehung weiteren Ferrokarbonats aus den Eisenverbindungen des Bodens hinwirken. So kommen wir zu der Ansicht, daß dies im Winter unter Wasser stehende Marschland in seiner Bodenflüssigkeit etwas Ferrokarbonat und -humat[8]) führte, dasselbe aber zum überwiegenden Teil adsorptiv gebunden enthielt.

In dem vor Bildung und Lösung von Eisenoxydulsalzen entkalkten Boden[9]) werden aber durchaus nicht alle Kalkteile verschwunden gewesen sein. J. Hazard wies bereits darauf hin, daß es bei Feststellung des Kalkgehalts einer Bodenprobe unerläßlich sei, den gröberen Kalkbröckchen besondere Aufmerksamkeit zu widmen.[10]) Es kann ein Boden sonst mehr oder weniger stark entkalkt sein, und doch noch kohlensauren Kalk enthalten, der in größeren Stückchen der Auflösung widerstanden hat. Sogar auf Moorböden umgeben sich gröbere Kalkstückchen mit einer Schicht von ausgefällten Humus-

[1]) A. Emmerling, Agrikulturchchem. Untersuch., Festschrift (Kiel 1895) 188.

[2]) Vgl. über diese Höhenänderungen D. Wildvang, das Alluvium zwischen d. Ley, 61, 66 u. f.

[3]) So kennzeichnet noch A. Stöckhardt, Chem. Ackersmann 12, 103 (1866) das „Inmarkenland" (ältestes Marschland), auf dem sich der strengste Knick findet.

[4]) J. M. van Bemmelen, a. a. O. 261

[5]) Derselbe a. a. O. 263.

[6]) Ebendort.

[7]) J. M. van Bemmelen, Zeitschr. anorg. Chem. 22, 342 (1900).

[8]) Ferrohumat ist im Gegensatz zu C. Sprengels Meinung, Kastners Arch. ges. Naturk. 8, 145 u. f. (Nürnberg 1826), nach S. Odèn nur kolloidlöslich. Kolloidchem. Beih. 11, 107 (1920).

[9]) A. Orth, Kalk- u. Mergeldüng. (Berlin 1896) 44.

[10]) J. Hazard, Landw. Versuchsstat. 60, 472 (1904).

und anderen Stoffen und bleiben dann im Boden zurück, ohne den Pflanzen nutzbar zu sein,[1]) was zu dem Bestreben führt, daß nur recht fein gemahlener Kalk als Düngemittel vertrieben werden soll. Gerade für den entkalkten Marschboden ist es unter diesen Umständen nur sehr erklärlich, daß er vielfach noch kohlensauren Kalk in Stücken enthält, obwohl diese Verbindung in feiner Verteilung nicht mehr in ihm aufzufinden ist. Besonders der oft nicht geringe Gehalt an Muschelschalen und ähnlichen Kalkresten früherer Seetiere muß dies bedingen, was denn auch von F. Schucht[2]) und K. Tantzen,[3]) wie längst vorher von anderen Forschern Erwähnung gefunden hat. Diese Muschelreste, die zwar schwer, doch nicht unlöslich sind, werden mit dem an sie herandiffundierenden Ferrobikarbonat sich umsetzen und dabei kolloides, ausgefälltes Ferrokarbonat[4]) und Kalziumbikarbonat ergeben, welch letzteres sich in der nahezu kalkfreien Bodenlösung verteilt und damit praktisch verschwindet, auch noch weiterer Auswaschung oder Aufnahme durch die Pflanzenwurzeln unterliegt. Der Vorgang wird so lange fortdauern, bis die letzten Reste kohlensauren Kalks aus den Muschelteilen verbraucht sind Das so in kleinen Nestern und Anhäufungen entstandene Ferrokarbonat wird dann, wenn der Boden im Sommer durch Sinken des Wasserstandes trockener wird und Luft in ihn eindringt, durch den Luftsauerstoff leicht zu Ferrihydroxyd oxydiert.[5]) Nimmt man an, daß Ferrokarbonat in der Bodenlösung bereits in kolloidem Zustande, durch Humussubstanz „geschützt" sich vorfindet, so kann man auch folgern, daß die Humussubstanz durch Kalk ausgefällt und so das Ferrokarbonat gleichfalls zum Ausfallen gezwungen wird. Doch scheint mir die erste Erklärung einleuchtender. Endlich bestände noch die Möglichkeit, anzunehmen, daß die Muschelüberreste in ihrer Umgebung den Boden entsäuern und so für das Wachstum von Eisenbakterien geeigneter machen; die Eisenbakterien vermögen aber aus gelöstem Ferrokarbonat Eisenhydroxyd zu bilden,[6]) wenn auch kein Luftsauerstoff hinzutritt.

Das aus dem kolloiden Ferrokarbonat voraussichtlich im Sommer durch Luftsauerstoff gebildete Ferrihydroxyd wird gleichzeitig, wenn es

[1]) Nach mündlichen Mitteilungen von B. Tacke auf der Hauptversammlung des Verb. Deutsch. landw. Versuchsstat. (Dresden 1913).

[2]) F. Schucht, Erläut. geolog.-agron. Karte, Bl. Jever, 26.

[3]) K. Tantzen, a. a. O. 34, 134.

[4]) J. M. van Bemmelen, Zeitschr. anorg. Chem. **22**, 342 (1900).

[5]) Ebenda 340.

[6]) J. M. van Bemmelen, a. a. O. 340.

bei der sommerlichen Durchlüftung des Bodens mehr oder weniger Wasser verliert, zunehmend irreversible Veränderungen erleiden und unlöslich, zum mindesten schwer löslich werden. Umhüllt es noch einen Kern von kohlensaurem Kalk, so wird dieser doch, wenn der Boden wieder im Winter unter Wasser steht, von neuem Ursache zu weiterer Ausscheidung von Eisensalzen geben. Auf diese Weise wäre das Erscheinen der kleinen und größeren Eisenkonkretionen im Boden erklärt, die ihrerseits nun noch Phosphorsäure[1]) adsorbieren dürften, vielleicht auch noch andere Stoffe.[2])

Ein solcher Knick, der auf die soeben besprochene Weise gebildet ist, wird dem ungünstigen Wasserstande entsprechend in seiner gesamten Erdmasse noch Eisenoxydulsalze führen, mehr oder weniger sauer reagieren und, wo er nahe der Oberfläche liegt, nur wenig nutzbare Gräser zu tragen vermögen. Er ist noch heute als der besonders gefürchtete „blaue" Knick[3]) bekannt, und bereits diese Bezeichnung deutet auf die Gegenwart von Eisenoxydulsalzen hin.[4])

Wird nun die Entwässerung verbessert, wie dies in den Marschen nicht nur mit der fortschreitenden Entwicklung der Landwirtschaft, sondern unter Umständen mit längeren Friedensjahren, mit der Wirksamkeit von tüchtigen Wirtschaftsleitern, ja mit trockeneren Witterungsperioden zusammengegangen sein muß,[5]) so wird aus dem blauen der weit bessere, nicht mehr sauere, von Luft stärker durchdrungene braune[6]) oder graue[7]) Knick. Der erste, wenn der Boden in seiner Gesamtheit noch mehr Ferrosalze enthielt, die sich nun oxydierten und die braune Farbe bedingten, oder wenn die Eisenkonkretionen des Knicks fein verteilt und klein waren. Grauer Knick entstand wohl mehr, wenn die Hauptmenge des Eisens im Boden sich bereits noch während der Zeit höheren Wasserstandes unter dem Einfluß der Muschelüberreste, wie erwähnt, in Form von gröberen Konkretionen abgeschieden hatte.

Uns liegt heute zum größten Teil für die Untersuchung Knickboden vor, der bereits mehr oder weniger lange Zeit hindurch besser entwässert ist. So war es aber nicht immer. Noch F. Ahrends nennt ganz

[1]) Vgl. den Phosphorsäuregehalt des Knicks („Stört") bei A. Stöckhardt, Chem. Ackersmann **12**, 102 (1866).

[2]) J. M. van Bemmelen, a. a. O. 343.

[3]) Nach A. Stöckhardt, a. a. O., teils bläulich-, teils rötlichgrau.

[4]) K. Tantzen, a. a. O. 50.

[5]) Auch Rückschläge sind durchaus anzunehmen.

[6]) Nach A. Stöckhardt, a. a. O., bräunlich.

[7]) K. Tantzen, ebenda.

allgemein den Knick sauer,[1]) W. Wicke bekämpft später diese Ansicht;[2]) doch hatten vermutlich beide recht. Zu F. Ahrends Zeiten war eben noch viel Marschland schlecht entwässert,[3]) wozu die Napoleonischen Kriegszeiten wohl beigetragen haben mögen. Und fast ein halbes Jahrhundert später, als W. Wicke arbeitete, trat solch zu nasses Land der Menge nach zurück. Das Wasser und die Säure des Bodens verschwanden, ebenso das Eisenoxydul. Die Eisenoxydkonkretionen blieben, und damit die Bezeichnung als Knick. Es blieb auch und vermehrte sich gewiß noch die Menge der in tieferen Bodenschichten durch Hinabwaschung aus den kalkarmen oberen Lagen angehäuften feinsten Teile,[4]) die neben und mit der Anhäufung von Eisenkonkretionen den Knick in so schlechten Ruf gebracht hat.

2. Die Spalten- und Wurzelablagerung von Eisen.

Es bleibt noch die Ablagerung von Eisenhydroxyd in Bodenspalten und an den Wurzeln zu erklären. Zunächst steht fest, daß dies auch auf guten und besten Marschweiden stattfindet,[5]) die erhebliche Mengen von Eisenoxydulsalzen im Boden nicht mehr enthalten können. Die bisher gegebene Erklärung ist für diesen Fall also bereits aus diesem Grunde kaum zulässig.

[1]) F. Ahrends, Ostfriesland u. Jever in geograph., statist., landw. Hinsicht (Emden 1818) **1**, 32. Derselbe, Rasen u. Moorbrennen (Hannover 1826) 13.

[2]) W. Wicke, Journ. Landw., n. F., **7**, 381 (1862). A. Stöckhardt, Chem. Ackersmann **12**, 102 (1866), findet aber von drei „Stört"- bzw. Knickproben zwei sauer.

[3]) Man denke an die oben S. 407 gemachten Angaben, die auch auf mangelhafte Entwässerung hindeuten! Auch A. Stöckhardt gibt entsprechende Mitteilungen, a. a. O. 103. Weiter weist J. M. van Bemmelen, Landw. Versuchsstat. **8**, 260 (1866), darauf hin, daß die Hinabwaschung feinster Teile und damit die Verdichtung des Bodens unter der Krume besonders in feuchten Jahren nach tieferer mechanischer Bearbeitung stattfindet. Man denke an die Wirkungen der Bodenbearbeitung nach Meerwasserüberschwemmungen, oben S. 338/9, 342, und an anderen Orten geschildert. Weshalb sollte nicht Zertreten feuchter Weiden durch das Vieh ähnlich wirken?

[4]) Angaben von A. Emmerling über einen 2 Fuß dick Knick führenden Marschboden, Agrikulturchem. Untersuch., Festschrift (Kiel 1895) 188, geben zu der eben ausgeführten Ansicht über die Bildung der Eisenkonkretionen des Knicks meiner Meinung nach ein deutliches Beispiel. Ebenso die Mitteilung J. M. van Bemmelens, daß der Knick fehlt, wo der Boden nicht früher eine feuchte, niedrige Lage gehabt hat, Landw. Versuchsstat. **8**, 296 Anmerk. (1866).

[5]) W. Wicke beobachtete solche Bildungen auf neugebildetem Marschboden, der noch Strand- und Salzpflanzen trug, also wohl auch noch nicht besonders kalkarm gewesen sein kann, Journ. Landw. n. F., **7**, 386 (1862).

Wir werden hier auf die Tatsache zurückgreifen müssen, daß die organischen Substanzen im Boden, der Humus, Schutzwirkungen auf Eisenhydroxyd ausüben und dies vor dem Ausfallen bewahren. Es mag dementsprechend in der Bodenflüssigkeit der Marsch kolloid gelöstes Eisenhydroxyd in geringer Menge vorhanden sein.

Dessen Ausscheidung an den Pflanzenwurzeln, die es dabei direkt umgibt, kann man sich nun derart vorstellen,[1]) daß diese die Bodenflüssigkeit durch Wurzelhärchen und Wurzelwand hindurch in sich aufnehmen dagegen das kolloide Eisen entweder gar nicht oder nur in äußerst verschwindender Menge, wie dies ja von den Kolloiden bekannt ist. Beruht doch das ganze Verfahren, Kolloide durch Dialyse zu reinigen, nur auf ihrem weitgehenden Unvermögen, pflanzliche bzw. tierische Häute zu passieren. Da die Pflanzenwurzel demnach ständig Bodenlösung aufnimmt und neue an sich heranzieht, so muß sich in ihrer nächsten Umgebung das nicht aufgenommene Eisenhydroxydkolloid anreichern, durch die Konzentrationserhöhung ausfallen[2]) und bei Absterben der Wurzel und gelegentlicher Trockenheit, auch wohl schon durch Alterung allein, mehr und mehr verhärten. Ähnliches muß an den Boden durchsetzenden Spalten, die lebhaftere Verdunstung der freigelegten Bodenstelle bedingen, in allerdings geringerem Maße eintreten. Hier wird außerdem eine Oxydation des wohl nur in sehr geringer Menge notwendigen Humusschutzkolloids stattfinden, und dadurch weitere Ausscheidung des Eisenhydroxydkolloids erfolgen. Enthält der Boden aus irgendwelchen Gründen noch Ferrosalze, so können sich diese an den Spaltenwänden auch leicht oxydieren und dadurch Eisenausscheidungen bilden.[3])

Daß der nicht mehr durch Wasserüberschuß geschädigte braune oder gelbe Knick an sich nicht pflanzenschädlich ist, bewies bereits W. Wicke, dessen Versuche[4]) neuerdings von K. Tantzen[5]) wiederholt wurden. Die Eisenausscheidungen im Boden, die bei starkem Auftreten wie ebenso viele Steinchen wirken müssen und die Wurzelbewegung weitgehend hindern, nicht weniger auch den Verlauf des Wassers, werden neben und nicht selten erst hinter der Anreicherung des tieferen Bodens mit feinsten Teilchen die Ursache für seine ungünstige Beschaffenheit dar-

---

[1]) Etwas andere Ansichten bei B. Frosterus, Intern. Mitteil. Bodenk. **3**, 112 ff. (1913).

[2]) Solche Ansichten annähernd bereits bei H. Schultze, Journ. Landw. n. F., **1**, 190 (1866).

[3]) Vgl. auch B. Frosterus, Intern. Mitteil. Bodenk. **3**, 120 (1913).

[4]) W. Wicke, Journ. Landw., n. F., **7**, 383 (1862).

[5]) K. Tantzen, a. a. O. 122.

stellen. Es mag auch gelegentlich, worüber erst Bodenuntersuchungen [1]) auch mit schwächeren Lösungsmitteln Auskunft geben könnten, [2]) das Eisenhydroxyd der Bodenkonkretionen Phosphorsäure für die Pflanzen schwerer aufnehmbar machen. [3]) Änderung der physikalischen Beschaffenheit durch Kalkgaben mag daher wohl mit die erste Aufgabe bei der Verbesserung des nicht mehr an Wasserüberschuß leidenden Knicks sein, sonst natürlich Entwässerung. Da der Knick den Pflanzen wenig günstige Wachstumsbedingungen bot, kann er natürlich auch nicht reichlich stickstoffhaltige Pflanzenreste enthalten, besonders nicht von Leguminosen — seiner Kalkarmut halber —, und wird daher stickstoffbedürftig sein. Eine Neubildung der Eisenkonkretionen im Boden wird bei dauernd ausreichender Entwässerung nicht zu befürchten sein, wohl aber können sich Adern und Spaltenausfüllungen auch heute noch bilden und die oberen Bodenschichten „verknicken". Kalk in der richtigen, auch nicht zu hohen Menge wird hiergegen ebenso wie gegen weiteres Durchschlämmen feinster Teilchen helfen, wogegen Kalk und Kalisalze in größeren Mengen zusammen zu nachteiliger Bildung von Alkali führen können. Dabei mag bereits hier darauf hingewiesen sein, daß gelegentlich feiner, auch sandhaltiger kohlensaurer Kalk, Mergel, ja, nur kalkreicher Sand dabei vielleicht besser wirken kann, als Ätzkalk, der doch zunächst auch die solbildenden Hydroxylionen in den Boden hineinbringt.[4])

f) Der Alm.

Zum Schluß sei noch kurz auf eine Kolloidbildung des Bodens hingewiesen, die gleichfalls den Pflanzen bzw. ihren Zersetzungsstoffen ihre Entstehung verdankt. Es ist der Wiesenkalk oder Alm,[5]) besonders auf dem Grunde vieler Niederungsmoore Südbayerns auch in der Schweiz,[6]) zu finden. Wenn auch diesbezügliche Angaben neuerer Lehrbücher der Bodenkunde ihn als feinkörnig kristallinisch bezeichnen,[7]) so stehen dem

[1]) Vergleiche solche bei W. Wicke, H. Schultze, F. Schucht und K. Tantzen, a. a. O.

[2]) Zumeist ist bisher mit heißer, konzentrierter Salzsäure gearbeitet worden.

[3]) Eine schon von W. Schumacher, Physik in Anwend. auf Agrikult. Pflanzenphys. **1**, 500 (1867), geäußerte Ansicht. Vgl. auch A. Orth, Kalk- u. Mergeldüng. (Berlin 1896) 45.

[4]) Darüber später noch mehr. Vgl. auch I. Struve, Fühlings landw. Ztg. **50**, 784 (1901).

[5]) F. Senft, Steinschutt u. Erdboden (Berlin 1867) 204 ff.; Zeitschr. deutsch. Geolog. Gesellsch. **13**, 343 (1861).

[6]) C. Brunner, Mittlg. naturforsch. Gesellsch. Bern **158/159**, 122 (1849).

[7]) E. Ramann, Bodenkunde, 3. Aufl. (Berlin 1911) 228.

so bestimmte anderweitige Feststellungen gegenüber,[1]) daß wir jedenfalls in einer ganzen Reihe von Fällen frischen Alm als kolloides Kalziumkarbonat bezeichnen müssen. Aber, wie W. Graf zu Leiningen betont, ist Alm anscheinend auch in der ersten Zeit seiner Bildung durchaus nicht immer kolloid, altert jedenfalls in der Regel bald, was durch Frost beschleunigt wird, und scheidet dabei kristallisierten kohlensauren Kalk ab.[2])

J. M. van Bemmelen wies bereits darauf hin, daß Humussubstanz auch Kalk in kolloide Lösung zu bringen vermag oder ihn im Gelzustand adsorbieren kann.[3]) Entsprechend finden wir bei G. Rose[4]) erwähnt, daß neben anderen kolloiden Mineralvorkommnissen der Alm außer Aragonit mehr oder minder große Mengen von amorphem Kalkkarbonat und von an organische Säuren des Bodens (Humusstoffe) gebundenem Kalk enthalte. Gelatinöse anorganische Kalksalze, auch Karbonate, vermochten dann auch C. Neuberg und B. Rewald,[5]) G. Léon,[6]) A. Cavazzi[7]) herzustellen, zumal aber P. P. v. Weimarn.[8]) A. Reichard rechnet mit einer zunächst kolloiden Ausscheidung des kohlensauren Kalks[9]) und der Wirkung von karamelisiertem Zucker und Eiweißstoffen als Schutzkolloiden dabei. Aus Zucker entstehen aber ebenso wie Karamel auch unter gewissen Umständen humusartige Körper. So wird die Vorstellung, daß sich in der Natur kolloides Kalziumkarbonat unter dem „Schutz" von Humusstoffen zu bilden vermag, doch immerhin zu beachten sein.[10])

Der Alm findet sich am Grunde von Niederungsmooren.[11]) Es werden die uns ihrer Schutzwirkungen halber bereits bekannten Zersetzungsstoffe von Wiesen- und Moorpflanzen, der Humus, sich hier gut betätigen können. Daß dazu der frische, noch nicht weiter veränderte Alm Eigenschaften aufweist, die jedenfalls mit denen der Kreide nicht viel gemein haben — vielfach wird der Alm als kreidige Kalk-

[1]) P. Sendtner, Vegetat.-Verhältn. Südbayerns (München 1854) 123 ff.; M. Bräuhäuser, Erl. geolog. Spezialkarte Württembg. 179/174, 86 (1915)

[2]) W. Graf zu Leinigen, Naturw. Zeitschr. Forst- u. Landw. 14, 285 (1916).

[3]) J. M. van Bemmelen, Zeitschr. anorg. Chem. 22, 322, 340 (1900).

[4]) G. Rose, Abhandl. Berlin. Akad. 73 (1856).

[5]) Allerdings in Alkoholen; C. Neuberg u. G. Rewald, Biochem. Ztschr. 9, 245, 247 (1908).

[6]) G. Léon, Bull. Soc. franc. de min. 35, 172 (1912).

[7]) A. Cavazzi, Gazz. chim. ital. 42, 2, 626 (1907).

[8]) P. P. von Weimarn, Koll.-Zeitschr. 2, 78, 277 (1900).

[9]) A. Reichard, Koll.-Zeitschr. 18, 196 ff. (1916).

[10]) M. Adler erhielt bei Fällung von Chlorkalziumlösung mit hochkonzentriertem Ammoniumkarbonat eine dickgelatinöse Masse. Zeitschr. angew. Chemie (1897) 431. Ebenso fand W. Meigen Kalziumkarbonatgallerten; Habilitationsschr. (Freiburg i. B. 1902) 10 u. f., nicht weniger M. Mulack, Inauguraldissert. Freiburg i. B. (1913) 32/33. Weiter Th. Svedberg, Method. Herst. koll. Lös. (Dresden 1909) 394.

[11]) M. Bräuhäuser, a. a. O.

abscheidung bezeichnet[1]) —, erhellt aus folgenden Angaben: F. Senft[2]) beschreibt ein von ihm selbst an Ort und Stelle beobachtetes Almvorkommen, das sich „als eine bräunlichweiße, schleimig-teigige Masse" kennzeichnete, die „an der Luft allmählich sich zuerst mit einer erhärteten, Stärkekleister ähnlichen Rinde überzog, dann aber durch das Zerbersten dieser Rinde zu einem zarten, rauh anzufühlenden, aus lauter abgerundeten Körnchen bestehenden, bräunlichweißen Sand zerfiel, welcher beim Glühen einen brenzlich bituminösen Geruch entwickelte".[3]) — Noch deutlicher erhellt die eigentliche Beschaffenheit des Alms aus P. Sendtners Angaben:[4]) „Er bildet in frischem Zustande eine breiige, grumose, äußerst wasserhaltende[5]) Masse, im trockenen einen amorphen Sand ... Solange der Alm noch in dem stehenden Wasser ist, erscheint er als ein molkenähnlicher Brei und unter dem Mikroskop bei 300maliger Vergrößerung als eine schmierige, grumose Substanz. Sogar abgetrocknet lassen seine Klümpchen keine Spur von regelmäßiger Flächenbildung oder kristallinischer Struktur gewahren ... Der Alm hingegen versagt nach seiner Bildung, ehe er abgetrocknet ist, dem Wasser in so hohem Maße den Durchgang, als sehr toniger Mergel oder Lehm, und verliert, da er amorph bleibt, diese Eigenschaft keineswegs", wie ich an vielen Almarten untersucht habe[6]) ... „Die durchlassende Eigenschaft steht mit der, das Wasser anzuhalten, im Zusammenhange, die auch hier vergleichsweise gegen Ton sehr bedeutend ist,[7]) indem er (der Alm) höchst langsam ver-

[1]) M. Fleischer, in Ch. A. Voglers Grundl. Kulturtechnik **1** [1], 60 (Berlin 1909); M. Helbig, in Chr. Wagners Handb. Forstwissensch. **1**, 214 (Tübingen 1913). E. Wollny, Zersetz. organ. Stoffe (Heidelberg 1897) 230.

[2]) F. Senft, Steinschutt u. Erdboden (Berlin 1867) 205.

[3]) Näheres bei F. Senft, Zeitschr. deutsch. geolog. Gesellsch. **13**, 339 (1861).

[4]) P. Sendtner, Vegetat.-Verhältn. Südbayerns 123 ff.

[5]) Darauf weist u. a. auch E. Wollny hin. Zersetz. organ. Stoffe 230.

[6]) Das letzte an Stelle eines dasselbe besagenden Satzes von P. Sendtner, der aber etwas schwer verständlich ist.

[7]) P. Sendtner fand, nach Angabe bei F. Senft, a. a. O., nach Schüblers Verfahren der Bestimmung der wasserhaltenden Kraft — G. Schüblers Grunds. Agrikulturchem., 2. Aufl., **2**, 66 (1838) — bei

tonigem Lehm von Passau	58,3 %	Wasseraufnahme
Lehm von der Sternwarte bei München	60,5 %	„
Alm I (mit viel Schneckenhäusern)	57,9 %	„
„ II	95,4 %	„
„ III	90,4 %	„
„ IV	777,8 %	„
„ V	785,3 %	„
„ VI	1160 %	„

trocknet und dabei fast immer eine gelatinöse Materie darstellt, bis er trocken in einen mehr hornartigen Zustand übergeht; doch hängt dieser von seinem Gehalt an organischen Stoffen ab. Der davon freie Alm ist zerreiblich und rauh.[1]) Der Alm erleidet keineswegs beim Trocknen immer die gleichen Veränderungen. Bald geht er mit einer außerordentlichen Volumenverminderung in eine knorpelige Substanz über. Dieser Alm ist am reichsten an organischen Stoffen. Bald bildet er eine zerreibliche, mürbe Substanz." — Auch E. Wollny berichtet vom Alm, daß er für Wasser „undurchdringlich" sei, wie er in der Natur vorkomme, M. Bräuhäuser lernte ihn als „weiße, weiche, schmierige Schicht" im Untergrund größerer Torflager kennen,[2]) meist dicht erfüllt von Schalen oder Schalenbruchstücken kleiner Schnecken.[3]) Wahrscheinlich müssen wir für den Alm je nach seinen Entstehungsbedingungen ein bald mehr, bald weniger starkes Hervortreten kolloider Eigenschaften erwarten, ebenso wie auch ein „Altern" dieser eigenartigen Bodenbildung oft ziemlich schnell die kolloiden Merkmale zu verwischen geeignet ist, worauf besonders W. Graf zu Leiningen hinwies.[4])

Nicht selten tritt demnach der Alm als typisch kolloide Masse auf, die schleimig-gallertartig erscheint, das Wasser stark zurückhält und in gequollenem Zustand auch sehr schwer durchlässig ist, endlich mit außerordentlicher Schwindung zu einer horn- oder knorpelartigen Masse eintrocknet. Man wird vermutlich nicht weitgehend irren, wenn man in ihm dann eine durch erhebliche Mengen von Humusschutzkolloiden[5]) bedingte Ausscheidung kolloider Kalksalze sieht.[6]) Daß auch z. B. Eiweißstoffe in der Lage sind, unter lange dauernder Schutzwirkung auf kolloiden kohlensauren Kalk diesen zwei Jahre und wohl noch länger als

[1]) Von mir gesperrt.

[2]) M. Schmidt u. M. Bräuhäuser, Erl. Geol. Spezialkarte Württembg., Bl. Neukirch **181**, 57 (1913); ebenda Blatt Friedrichshafen-Oberteuringen **179/174**, 86 (1915); „schleimig, schmierig" nennt auch R. Heinrich den Süßwasserkalk unter Torflagern, vgl. Dünger und Düngen, 3. Aufl, 63, (Berlin 1896).

[3]) E. Wollny, Forsch. Geb. Agrikulturphysik **14**, 21 (1891).

[4]) W. Graf zu Leiningen, Naturw. Zeitschr. Forst- u. Landw. **14**, 285 (1916).

[5]) Nach A. Vogel, Ber. Augsburger naturhist. Ver., enthielt Alm 5% organische Substanz in der Trockenmasse; G. Rose, Abhandl. Berl. Akadem., (1856), 73.

[6]) Auch hier liegt, wie fast auf jedem der bisher berührten Gebiete der Bodenkunde, die Möglichkeit, ja, man möchte sagen die Notwendigkeit experimenteller Bearbeitung auf breiter Grundlage vor. Nur Sonderbehandlung der zahllosen Einzelfragen unter möglichster Nachbildung der natürlichen Erscheinungen im Versuch kann unsere Kenntnis solcher Vorkommnisse fördern.

solchen zu erhalten, wies O. Bütschli[1]) nach. Soweit man bisher urteilen kann, ist die Almbildung durch das Eindringen kalkreichen, harten Grundwassers oder Quellwassers in die Moore bedingt, wo es dann zur Bildung der erwähnten kolloiden Kalksalze, bzw. zum amorphen Niederschlag von kohlensaurem Kalk infolge der Schutzwirkung geringerer Humusmengen kommt.[2]) Wesentlich dürfte dabei ein kolloides Karbonat, auch daneben vielleicht noch andere kolloide Kalksalze in Betracht kommen. Daß vielen Landwirten in Gestalt des Scheideschlammes ein Stoff bekannt ist, der wenigstens in geringem Umfange Ähnlichkeiten mit dem Alm aufzuweisen vermag, sei dabei erwähnt, ebenso, daß nach The Svedberg Kalziumsaccharat unter gewissen Bedingungen kolloid ist.[3])

g) Der Raseneisenstein.

Die Bildungen von Raseneisenstein, die landwirtschaftlich wie forstwirtschaftlich dem Ortstein gegenüber wohl nur geringere Bedeutung besitzen, sind noch äußerst wenig in ihren Ursachen erforscht.[4]) Nur von J. M. van Bemmelen[5]) liegt eine eingehendere Prüfung[6]) der Sachlage vor, die indes auch noch nicht zu maßgebender Aufklärung führen konnte.[7]) Es mag als Ergebnis unserer vorläufigen Erkenntnis mitgeteilt sein, daß die durch Raseneisenstein dargestellte Verkittung von Bodenteilen durch Eisen — wobei Gehalte an Eisenoxyd bis 80% vorkommen[8]) — wesentlich durch Aufsteigen eisenhaltigen Grund- und Quellwassers

[1]) Abhandlg. Kgl. Gesellsch. Wissensch. Göttingen, N. F. **6**, Nr. 3, 12/13 (1908).

[2]) F. Senft bzw. P. Sendtner, Zeitschr. deutsch. geolog Gesellsch. **13**, 339 (1861); C. Brunner, Mittlg naturforsch. Gesellsch. Bern **158/159**, 122 (1849).

[3]) T. Svedberg, Methoden z. Herst. koll. Lösg. (Dresden 1909) 305. Nach L. Vaudin, Ann. Instit. Pasteur **16**, 85 (1902); Compt. rend. **135**, 535 (1902), kann Zucker z. B. Kalziumphosphat „in Lösung erhalten" C. A. Lobbry de Bruyn, Ber deutsch. chem. Gesellsch. **35** 3079 (1902), fand, daß Rohrzucker in sehr konzentrierter Lösung ähnlich, aber schwächer als Gelatine darauf hinwirkt, daß sonst sich unlöslich abscheidende Stoffe kolloid in Lösung bleiben. — Vgl. auch sonst noch A. Lottermoser, Anorgan. Kolloide (Stuttgart 1901); G. Bredig, Zeitschr. angew. Chem. 151 (1898).

[4]) P. E. Müller und F. Senft bringen, vgl. a. a. O., Angaben über ihr Auftreten u. dgl.

[5]) J. M. van Bemmelen, C. Hoitsema und E. A. Klobbie, Zeitschr. anorg. Chem. **22**, 313 (1900).

[6]) Versuche zur Erklärung auch bei M. Helbig, Verh. Naturf.-Versamml. Karlsruhe **2** (1), 287 (1912).

[7]) Vgl. auch noch H. Schütte, Landw. Jahrb. **27**, Ergänz.-Bd. **4**, 548 (1898).

[8]) G. I. Mulder, Chemie d. Ackerkrume **2**, 263 (Berlin 1860); F. Senft, Humus-, Marsch-, Torf- und Limonitbildg. (Leipzig 1862) 176.

bedingt ist, das seinen Eisengehalt dann durch Oxydation, vielleicht auch durch Tätigkeit von Eisenbakterien, in Form von Eisenoxydverbindungen[1]) zurückläßt. Die Schwankungen des Wasserspiegels dürften dabei keine geringe Rolle spielen. Abgesehen davon, daß das in Kolloidform sich ausscheidende Eisenhydroxyd vorhandene Bodenbestandteile, zumal Sand, verkittet und so in das neu entstehende Gebilde hineinzieht, auch an sich auf die Bodenporen verstopfend wirkt,[2]) werden Kolloidvorgänge dabei keine erhebliche Rolle spielen und besonders auch Wirkungen lebender oder abgestorbener Pflanzen ohne größere Bedeutung sein. Man könnte allenfalls als Ursache dafür, daß Raseneisenstein sich nicht in, sondern unter Mooren und moorigem Rasen zu bilden pflegt, eine Schutzwirkung der Moorhumuskolloide auf das sich oxydierende Eisen annehmen. Wo Raseneisenstein oder verwandte Bildungen in Mooren vorkommen, läßt sich ihr Auftreten durch besondere Umstände erklären.[3])

Es kommen übrigens auch Bodenverkittungen durch Manganverbindungen vor.[4])

h) Der Laterit.

Den Laterit vom Standpunkt der Bodenkolloide aus zu betrachten, ist zurzeit ein fast noch allzu kühnes, ja beinahe völlig der Grundlagen ermangelndes Unternehmen. Wenn es hier im Gegensatz zur ersten Auflage doch versucht werden soll, so ist der Grund dafür, daß etwa weniger die zurzeit zu gewinnenden Anschauungen, als der Weg, auf dem sie zu erzielen sind, doch manchem Forscher vielleicht Nutzen bringen, und ihn auf bislang übersehene Umstände aufmerksam machen könnten, so daß hoffentlich auf diese Weise mit der Zeit an Stelle der heutigen Unklarheit besseres Wissen tritt. Von diesem Gesichtspunkt aus, der ja nahezu noch in der überwiegenden Zahl der Fälle überhaupt der unseres Buches ist, wolle man besonders den nun folgenden Abschnitt bewerten. — Obwohl der Laterit ferner keine Pflanzenbildung im weiteren Sinne sein dürfte,

---

[1]) Es ist vielleicht darauf hinzuweisen, daß J. M. van Bemmelen, Rec. trav. chim. Pays-Bas **7**, 96 ff. (1888), wie S. Passarge, Neues Jahrbuch Mineral. **2**, 471 (1897) und andere zwei Formen des Eisenhydroxydkolloids unterscheiden, rotes und gelbes. Vgl. dazu auch H. W. Fischer, Zeitschr. anorg. Chem. **66**, 37 (1910). Nach S. Passarge dürfte das erste für Eisenabscheidungen in Lateriten der Tropen, das gelbe für die Bildungen in unseren Klimaten bei Gegenwart von Humussubstanzen eine Rolle spielen. Über das Eisen in Roterden vgl. man auch R. Sachsse und A. Becker, Landw. Versuchsstat. **41**, 453 (1892).

[2]) Vgl. J. König, Landw. Jahrb. **12**, 842 (1883).

[3]) J. M. van Bemmelen, a. a. O.

[4]) M. J. Gleißner, Dissertation Karlsruhe 1913, besonders 69.

wie die bisher besprochenen Bodenveränderungen, so schien er sich doch an Ortstein und Raseneisenstein am besten anzuschließen.

Zunächst müssen wir wissen, was überhaupt als Laterit anzusehen ist. Die Antwort darauf ist leicht und doch wieder sehr schwer. Man kann entweder eine Eigenschaft des zumeist als Laterit bezeichneten Erdbodens als wichtigstes Kennzeichen herausgreifen: so etwa die rote Farbe der Verwitterungsmassen, die man in Deutschland nach dem Vorgange von G. C. Du Bois[1]) neuerdings vielfach als maßgebend anzusehen scheint, und die auch J. Walther, dessen Ausführungen mir sonst von besonderer Wichtigkeit zu sein scheinen, ebenfalls in den Vordergrund stellen will.[2]) Man kann den Gehalt an Eisenkonkretionen als entscheidend hervorheben, wie dies zuerst F. Wohltmann,[3]) dann nach ihm zum Beispiel P. Vageler tat,[4]) oder wie P. Gürich,[5]) und ihm folgend jetzt J. Walther — dieser eigentlich wohl nicht durchaus folgerichtig, da er bereits der roten Farbe große Bedeutung beimessen wollte —, das Hauptgewicht auf den Vorgang der Lateritbildung selbst legen. Mir scheint dies letzterwähnte Verfahren für mich das einzig gegebene, da ja gerade auch der Vorgang der Bildung, nicht nur die Beschaffenheit der fertigen Bodenart, uns hier fesseln muß, und die Entstehung auch die Eigenschaften des gebildeten Bodens zum guten Teil erklären hilft.

Will man aber die Entscheidung auf den Vorgang der Lateritbildung legen, so muß man endlich damit beginnen, zunächst nur besonders vollständige Lateritprofile der Forschung und Untersuchung zugrunde zu legen, genau so, wie man dies beim Ortstein tun würde. Natürlich vermag der geschulte Bodenforscher auch an einer übrig gebliebenen Ortsteinverhärtung oder an Bleichsandresten allein häufig das früher vollständige Vorkommen einer Ortsteinbildung mit Rohhumusschicht, Bleichsandzone und verhärteter Ortsteinlage zu ermitteln, von dem die übrigen kennzeichnenden Bestandteile eben durch irgendwelche Vorkommnisse verschwunden sind. Aber der die Bodenkunde nur im Nebenberuf oder gar nur gelegentlich betreibende Beobachter wird in solchen Fällen den gröbsten Irrtümern ausgesetzt sein. Ganz entsprechend bei der Lateritbildung. Wenn es sich um die Erkennung von Bruchstücken früherer Lateritprofile handelt, so wird der Beobachter je nach der

---

[1]) G. C. Du Bois, Tschermaks miner. u. petrogr. Mittlg., **22**, 1 (1903).

[2]) J. Walther, Petermanns Mittlg., **62**, 1 u. 46 (1916).

[3]) F. Wohltmann, Handb. trop. Agrikult. **1**, 149 (Leipzig 1892); Journ. Landw. **39**, 148 (1891); **42**, 385 (1894).

[4]) P. Vageler, Fühlings Landw. Ztg. **59**, 876 (1910).

[5]) P. Gürich, Zeitschr. deutsch. Geolog. Gesellsch. **39**, 127 (1889).

Schwierigkeit der Verhältnisse mehr oder weniger geschult sein müssen, um sich von Irrungen frei zu halten; geht man aber gar nur von der Beobachtung äußerlicher Merkmale aus, die anscheinend auch für jeden Laien festzustellen sind, so wird die Verwirrung nicht aufhören. Bezeichnend ist dafür ja die Summe von Widersprüchen, die bislang gerade die Behandlung des Lateritproblems erschwert hat[1]) und sich kaum etwas zu klären beginnt.

Über ganze Lateritprofile, also über Laterit, der nicht erst sekundär verändert worden ist, kann man nun aber mehr brauchbare Angaben finden, als es auf den ersten Blick scheint.

Die wichtigsten Mitteilungen stammen, nachdem bereits G. C. Du Bois[2]) beim primären Laterit Oberflächen- und Tiefenbildungen — als erste die schlackigen, zelligen rotbraunen Bildungen — unterschieden hatte, von A. Lacroix und J. Walther. Der erstgenannte Forscher konnte in Französisch-Guinea zahlreiche Lateritprofile studieren.[3]) Er unterschied über dem unzersetzten Gestein eine untere Zone (zone de départ), deren Hauptmerkmal die Auslaugung der Alkalien und Erdalkalien, sowie der Kieselsäure, und eine Hydratbildung ist. Darüber folgt die Zone der Konkretionsbildung (zone de concrétion), ausgezeichnet durch das Verschwinden der ursprünglichen Gesteinsstruktur, die Zunahme der beständigen, Abnahme der auflösbaren Anteile des Bodens, und Vergrößerung des Eisenanteils. Häufig kommt in dieser Konkretionszone an der Oberfläche, gewissermaßen als ihr Abschluß, ein Eisenpanzer (cuirasse ferrugineuse) vor, welcher besonders auf den weiten, von einer spärlichen Gramineenflora bedeckten Ebenen anzutreffen ist. In der unteren Zone zeigen sich, je nach den Gesteinen, die der Laterisierung unterliegen, Unterschiede. In der Zone der Konkretionsbildung vollendet sich die Zersetzung des Gesteins, daneben tritt aber eine Wanderung des Eisens von unten nach oben ein, und seine Konzentration an der Oberfläche. Fast die gleichen Tatsachen kann man aus J. Walthers Mitteilungen entnehmen. Er sagt z. B.[4]) „Eine harte und der Denudation gegenüber sehr widerstandsfähige Eisenkruste von 1—2 m Dicke überlagert rote und rotgefleckte Tone, in deren Liegendem die färbenden Eisensalze verschwinden und einer weißen Masse Platz machen. Hier treten aber

[1]) Vgl. von den soeben angeführten Forschern J. Walther a. a. O. 1; P. Vageler a. a. O. 873; weiter Chr. Ohly, Intern. Mittlg. Bodenk. **3**, 440 (1913); W. Meigen, Geolog. Rundschau **2**, 199/200 (1911).

[2]) G. C. Du Bois a. a. O.

[3]) A. Lacroix, Nouv. arch. Mus. Hist. Nat. **5**, 255, (5), (1914).

[4]) J. Walther, Petermanns Mittlg. **62**, 1 (1916).

schon einzelne unverwitterte Kerne des Muttergesteins auf, die zu dem oft noch mürben, aber nach Lagerung und Gesteinscharakter wohl erkennbaren Grundgebirge überleiten. Die weichen Tone unter der Eisenkruste haben eine Mächtigkeit von etwa 30—50 m. Diesen buntgefleckten oberen Teil will ich die Fleckenzone, den entfärbten unteren die Bleichzone nennen.“ Beide Zonen kennt auch E. C. J. Mohr,[1]) wenn er sie auch wohl nicht als zusammengehörig erkannte. Ganz ähnlich gibt J Walther auch für den Laterit Australiens — die soeben angeführte Stelle bezog sich auf den ostindischen Hochebenenlaterit — folgendes an:[2]) „Wo der Abhang der Oberplatte des australischen Laterits nicht mit Felsen überrollt und keine Höhle darunter gebildet ist, läßt sich der ursprüngliche Zusammenhang der Eisenkruste (1—2 m dick) mit den darunterliegenden Tonen überschauen. Da sehen wir zunächst, daß die in der Eisenkruste zusammenhängenden Konkretionen nach unten sich auflösen, und daß die vom Wind durch Abwehung freigelegten Stalaktiten und Zapfen nur ein Teil der vielen regellos gestalteten Eisenkonkretionen sind, die in der Übergangszone als Nester, Knoten, Putzen und netzartig verbundene Hartgebilde eingelagert erscheinen. In der folgenden Fleckenzone werden die Konkretionen seltener, und ein Gewirr von roten, braunen, gelben, violetten und bläulichen Flecken färbt den weichen Ton. Die Mächtigkeit der Fleckenzone schwankt von 3—10 m. Am Abhang herabsteigend gelangen wir jetzt in die Bleichzone. Auch sie hat keine scharfen Grenzen und eine von 5—15 m schwankende Mächtigkeit. Die färbenden Eisen- und Mangansalze sind hier ausgelaugt und durch aufsteigende Lösungen nach oben gewandert. Dafür treten hier die ersten unverwitterten Kerne des liegenden Grünsteins oder Gneises auf. Die Grenze zwischen Bleichzone und Muttergestein ist scharf, aber unregelmäßig, sie steigt bald auf, bald ab, und ebenso wechselt die Menge und Gestalt der darin eingefügten Gesteinsbrocken. Sehr schwer ist es, die Tiefe zu bestimmen, bis zu welcher noch eine Zermürbung des Gesteins erfolgt. In einzelnen Bergwerken fand man weiche Massen an tiefreichenden Spalten noch in 300 m Tiefe. Es kann nach allem kein Zweifel bestehen, daß die ganze Bleichzone mit der darüberliegenden Fleckenzone nebst der Eisenkruste durch Verwitterung des liegenden Gesteins entstanden ist. War dies ein eisenreicher Basalt, Diabas, Gabbro, Amphibolit oder Schalstein, dann wurde auch die Eisenkruste dick und stark, über Granit,

[1]) E. C. J. Mohr, Bull. Départ. Agricult. Indes Néerland., **17**, 2 (1908).
[2]) a. a. O. 6. — Ähnlich, nur sehr viel kürzer, B. L. Rice, Mysore **1**, 26 (Westminster 1897).

Porphyr und ähnlichen eisenärmeren Gesteinen[1]) verdünnt sich die Kruste, verliert ihren Zusammenhalt und ist leichter abzutragen. Nach J. T. Jutson[2]) findet man hier vielfach eine verkieselte Kruste.

Da Lacroix' Veröffentlichungen die zeitlich früheren sind, J. Walther den französischen Forscher aber offenbar nicht kennt, so gibt die fast völlige Übereinstimmung beider die Bürgschaft für eine wohl ganz beträchtliche Richtigkeit der Feststellung eines derartigen, kennzeichnenden Lateritprofils. — Daß die sonstigen Ausführungen von Lacroix, besonders über die Bedeutung des Humus und des Waldes wohl nur mit Vorsicht zu benutzen sind, zeigen die nachstehend mitgeteilten Ausführungen von R. Lang.

Haben wir damit diese eine Grundlage für unsere Überlegungen gewonnen, so kommt als zweite der Einfluß des Klimas und der mit ihm zusammenhängenden Umstände in Betracht. Da ist als nun wohl bei dem größeren Teil der Fachgelehrten anerkannt anzunehmen, daß der Laterit in sehr vielen Gegenden als fossile Bildung anzusehen ist. J. Walther nimmt sogar für jeden Laterit fossile Beschaffenheit an, kennt aber weder die leider nur recht kärglichen Angaben von Lacroix, noch die Gegenden, in welchen dieser seine Studien machte, und die möglicherweise noch heute die Bildung von Laterit gestatten.[3]) Immerhin ist für die weitaus überwiegende Menge der heutigen Lateritvorkommnisse im Anschluß an R. Lang[4]) anzunehmen, daß sie einer früheren Klimaperiode ihre Entstehung verdanken, und wir werden kaum fehlgehen, diese mit R. Lang[5]) und J. Walther[6]) als diluvial, vielleicht als mitteldiluvial anzusehen; daß auch in früheren Erdepochen gleichfalls Lateritbildung eingesetzt hat und auch zum Teil nachweisbar ist,[7]) liegt ebenso, wie für andere klimatische Bildungen, Eiszeit, Lößbildung, Wüstenbildung u. dgl., nahe. Daß der heutige Laterit z. B. auch in Südamerika als fossil anzusehen ist, geht aus Angaben von E. Rimann[8])

---

[1]) In solchem Falle ist natürlich auch der Laterit mehr oder fast ganz eisenfrei. Dem wechselnden Gehalt an Eisenoxyd entsprechend schwankt die Farbe des Laterits von farblos bis dunkelbraun. — W. Meigen, Geolog. Rundschau **2**, 201 (1911).

[2]) J. T. Jutson, B. Geol. Surv. **61** (1914); zit. nach J. Walther.

[3]) Ich halte dies nach den vorliegenden Mitteilungen nicht für wahrscheinlich, wohl aber für möglich.

[4]) R. Lang, Zentralbl. Mineral. (1914) 257, 513, 545, 641; ebenda (1915) 148.

[5]) R. Lang, Zentralbl. Mineral. (1914) 258 u. f., 549; ebenda (1915) 149.

[6]) J. Walther, a. a. O. 53.

[7]) J. Walther, a. a. O. 53.

[8]) E. Rimann, Zentralbl. Mineral. (1914) 615.

hervor, der die heutige, ganz unregelmäßige Verteilung des Laterits dort auf die Rechnung von infolge von Parallelverwerfungen eingetretenen Niveauunterschieden setzt. Früher war auch das Küstenland mit einer Lateritdecke einheitlich bedeckt, ganz wie J. Walther dies für ostindische und australische Lateritgegenden schildert. Auch F. Wohltmann nimmt an, daß sich Laterit nur dort gebildet hat, wo jahrtausendelange Verwitterungsprozesse vorliegen, daß endlos lange Zersetzungsvorgänge dazu notwendig waren,[1]) was ja wohl auch nicht wenig zu der Ansicht von fossiler Bildung des hier behandelten Bodengebildes paßt.

J. Walther[2]) spricht dann über die Bildungsbedingungen des Laterits sich dahin aus, daß die Laterisierung das kennzeichnende Seitenstück zu der ariden Lößbildung und der Entstehung der polaren Geschiebelehme und fluvioglazialen Ablagerungen sein und[3]) als interglazialer Vorgang angesehen werden dürfte.[4]) Ein kontrastreiches Klima mit auf kurze Zeit begrenzten, starken Niederschlägen, etwa noch ausgeprägter als das vom nördlichen Westaustralien, würde die zur Lateritbildung erforderlichen Grundlagen bieten: starke Durchwässerung des Bodens und hohe Temperaturen. Eindringen des Regenwassers bis in große Tiefen; dann aber eine lebhafte Aufwärtsbewegung der im eisenreichen Grundgebirge

[1]) Nach J. Walther, a. a. O. 53.

[2]) J. Walther, a. a. O. 53.

[3]) Vgl. dazu auch E. Blanck, Mittlg. Landw. Instit. Breslau, **6**, bes. 632—641 usw. (1913); H. Stremme, Geolog. Rundschau, **1**, 337 (1910); M. Bräuhäuser, Jahresh. Ver. Vaterl. Naturk. Württembg. **72**, 266 (1916).

[4]) Dafür, daß übrigens auch in Deutschland Laterite aus der Diluvialzeit vorkommen, sei ein von H. Müller angeführtes Lateritprofil erwähnt, das auch Konkretionen, Fleckenzone und Bleichzone aufweist: Tonwerke nordwestlich Helmstädt:

Im Hangenden:	nordische Geschiebesande
(Konkretionen und Fleckenzone):	rote, violette und bunte, lateritähnliche Gesteine, bzw. lateritische Eisenerze 2 m
(Bleichzone):	hellgraue tuffähnliche Gesteine 0,6 m
	weißer und gelber Quarzsand 8—9 m
	blutrote, fette Tone des Eocäns 0,7 — 1.60 m
Im Liegenden:	Lias, Angulatenschichten 60—80 m

Nähere Untersuchung dieses Profils würde gewiß recht lohnend sein, wenn sich meine Vermutung, daß wir hier ein echtes, diluviales Lateritvorkommnis vor uns haben, bestätigt. Vgl. H. Müller, Inauguraldissertat. Berlin, 33 (1914).

entstandenen Lösungen, Verdampfen des lösenden Wassers und Ausfallen des gelösten Eisens.

Es wäre nun nichts leichter, als auf Grund der erforderlichen Reihen von nach allen Seiten hin ausreichenden Analysen derartiger Lateritprofile eine auch den Verhältnissen der Bodenkolloide wenigstens einigermaßen Rechnung tragende Theorie der Lateritbildung aufzustellen, wenn nicht bei den vielen in der Literatur verstreuten Lateritanalysen, von ihrer zumeist großen Unvollständigkeit abgesehen, in sehr vielen Fällen die Möglichkeit vorläge, daß es sich um sekundär verlagerten Laterit oder gar um bereits in geringerem oder größerem Umfange durch Humusbedeckung veränderten Laterit handelt;[1]) es ist aber weiter auch vielfach gar nicht ausgeschlossen, daß die untersuchten Stücke einem wirklichen Laterit gar nicht entsprechen,[2]) oder wenigstens nur Übergangsformen darstellen, indem sie aus noch nicht völlig laterisiertem Gestein stammen. Hinzu kommt noch, daß die Untersuchung solcher Lateritproben in der Regel nur auf die chemische Seite beschränkt und auch dabei oft nur in aller Kürze erledigt worden ist. Als festgestellt kann man heute eigentlich nur ansehen, daß, wie dies zuerst M. Bauer genau darlegte,[3]) bei der ausgesprochenen Lateritbildung die der Umwandlung fähigen, tonerdehaltigen Gesteinsbestandteile unter Verlust der gesamten Kieselsäure und der Alkalien[4]) in Tonerdehydrate, zum Teil wohl auch in Hydrargyllit übergehen; gleichzeitig wird das Eisen ausgeschieden und bleibt den Tonerdehydraten mechanisch beigemengt. Alkalische Lösungen werden die Wegführung der Kieselsäure in erster Linie erklären. J. M. van Bemmelen,[5]) H. Warth und E. J. Warth,[6]) W. Meigen,[7]) P. Vageler,[8]) C. Ohly[9]) u. a. schließen sich diesen Ansichten M. Bauers an. Weiter haben u. a. P. Vageler, W. Meigen und C. Ohly auf die durch die höhere Temperatur der Tropen gut erklärliche, stärkere Hydrolyse des Wassers und die auf diesem Wege bedingte alkalische Reaktion

[1]) Vgl. dazu u. a. G. C. Du Bois, a. a. O., ferner besonders R. Lang, Zentralbl. Mineral. (1914), 513 u. f., 545 u. f.

[2]) R. Lenz, Inauguraldissertat. Freiburg, 44 (1908); R. Schwarz, dgl. 45 (1910).

[3]) M. Bauer, Neues Jahrb. Mineral., **2**, 163 (1898), 33 (1907).

[4]) Und alkalischen Erden, vgl. P. Vageler, Fühlings Landw. Ztg., **59**. 875 (1910).

[5]) J. M. van Bemmelen, Zeitschr. anorgan. Chem. **42**, 265 (1904).

[6]) H. Warth und E. J. Warth, Geologic. Magazine, **10**, 154, (1903).

[7]) W. Meigen, Geolog. Rundschau, **2**, 199, 205/6 (1911).

[8]) P. Vageler, a. a. O.

[9]) C. Ohly, Internat. Mittlg. Bodenk. **3**, 443 (1913).

mit gelösten Silikaten angereicherten Wassers hingewiesen und derart auch die erforderliche Bildung alkalischer Lösungen wahrscheinlich gemacht. Die sehr gut durchlässige,[1]) Wasser wenig festhaltende,[2]) auch als feinschuppig,[3]) niemals bildsam,[4]) porös,[5]) morsch[6]) und spröde,[1]) locker[7]) oder ähnlich bezeichnete Struktur des sekundär nicht veränderten Laterits ermöglicht das Eindringen des Wassers nahezu bis auf das unzersetzte Gestein, so daß sich derart auch die sehr tiefgehende Zersetzung, der mangelnde Schutz des Gesteins durch Verwitterungsdecken von selbst erheblicher Mächtigkeit erklärt.

Auf Grund dieser Tatsachen werde ich nun mich bemühen müssen, eine Erklärung für die Lateritbildung und das Verhalten der jetzt beobachteten Lateritvorkommnisse zu geben. Dabei darf natürlich nicht übersehen werden, daß bereits P. Vageler und A. Luz versuchten, die Kolloidchemie zur Erklärung der Lateritbildung heranzuziehen. Ersterer sagt: „Nun haben infolge des Mangels an organischen Stoffen die tropischen Böden, insbesondere alle, die sich in lateritischer Zersetzung befinden, neutrale bis ausgesprochen basische Reaktion. Das Kieselsäuresol ist aber gerade bei dieser Reaktion und höheren Temperaturen außerordentlich stabil. Es gelangt daher nicht zur Koagulation, d. h. die Kieselsäure verschwindet mit dem Wasser. Wesentlich anders ist das Verhalten der beiden anderen Sole, der kolloiden Oxyde bzw. Hydroxyde des Eisens und Aluminiums. Beide werden schon durch geringe Mengen negativer Ionen koaguliert, wobei der nähere Charakter dieses Vorgangs hier unentschieden bleiben mag, und zwar sind sie um so weniger stabil, je höher die Temperatur ist. Die Existenz dieser Sole ist also jedenfalls von sehr kurzer Dauer. Sie werden wahrscheinlich sogar sofort nach ihrer Entstehung niedergeschlagen, also an den Ort ihrer Entstehung gebannt. Das ist für das $Al(OH)_3$ vorwiegend der Feldspat, für das $Fe(OH)_3$ die eisenreichen Mineralien, wie Hornblende usw. Die oben nach Bauers Untersuchungen als bezeichnend für den Laterit erwähnten Pseudomorphosen der Einzelmineralien unter Erhaltung des Gesteinscharakters in seinen groben Zügen sind fertig . . . Hat die Auswaschung einen ge-

[1]) C. Ohly, a. a. O. 443.

[2]) J. M. van Bemmelen, Arch. Néerland. Scienses exact. natur. (2), **10** 231 (1905).

[3]) W. Meigen, a. a. O. 201.

[4]) M. Bauer, N. Jahrb. Mineral. **2**, 202 u. 215 (1888).

[5]) E. C. J. Mohr, Bull. départ. agricult. Indes Néerland. **47**, 16/17 (1911)

[6]) Th. Schloesing d. Ä., Compt. rend. **132**, 1203 (1901).

[7]) J. Walther, a. a. O. 7 u. 46.

wissen, sehr hohen Grad erreicht, ist ein gewisser Schwellenwert unterschritten, wie es bei völlig typischer Ausbildung des Laterits der Fall ist, dann wird auch das Eisenoxyd wieder beweglich. Es geht kolloid in Lösung und bildet, wo es in größerer Tiefe mit Elektrolyten zusammentrifft, wohl unter Wasseraufnahme ins Molekül die Bohnerze und folgend die mächtigen Limonitkonkretionen, die das letzte Stadium der Umwandlung der Bodensubstanz bedeuten."[1]) — Wie wir bereits aus unseren bisherigen Darstellungen entnehmen können, mischt P Vageler hier Richtiges mit Irrtümlichem. Auch eine kolloidchemische Betrachtung der Lateritbildung von A. Luz[2]) hat uns meines Erachtens nicht viel weiter gebracht, da auch sie nicht von ganzen Bodenprofilen ausging. Daß die Bildung von Bohnerz wohl der Laterisierung folgen kann und folgt, stellte R. Lang in überzeugender Weise fest. Es hat aber mit der Lateritbildung nichts mehr zu tun, sondern verdankt sein Dasein gerade einer den Laterit als solchen zersetzenden Klimaänderung. „Erst die Fossilisierung des Laterits unter dem Einfluß eines feuchteren, Braunerde bildenden Klimas ermöglicht die Entstehung der Bohnerze."[3]) — Wie bei sofortigem Niederschlagen des Eisenoxyds und seiner Bannung an den Ort seines Entstehens die Eisenpanzer vollständiger Lateritprofile entstehen sollen, die P. Vageler vermutlich nicht kannte, aber wie auch nur die der Oberfläche nahegelegenen Roteisenkonkretionen zur Bildung kommen sollen, auf die u. a. auch noch R. Lang deutlich hinweist[4]) und die er als vom Bohnerz völlig verschieden bezeichnet, die aber auch Vageler kennt und für die Altersform des Laterits hält,[5]) bleibt unbekannt. Denn nach P. Vageler müßte, wenn das Eisen zuletzt doch wieder in kolloide Lösung geht, auch zu fordern sein, daß dann gleichfalls die Tonerde dies mehr oder weniger tut. Ferner aber, daß es zu einer merkbaren Auswanderung des sich doch bei so starker Auswaschung schwerlich im Boden völlig erhaltenden Eisens kommt; wie sollte dies nahezu restlos im Boden verbleiben,[6]) wenn es nur durch Zusammentreffen mit Elektrolytlösungen in größerer Tiefe ausgefällt wird? Wie stimmt endlich die Tatsache, daß die Eisenkonkretionen und der Eisenpanzer des Laterits oben liegen, die Bleichzone dagegen in der Tiefe, zu dieser Annahme Vagelers?

---

[1]) P. Vageler, Fühlings Landw. Ztg. **59**, 878 (1910).
[2]) A. Luz, Koll. Zeitschr. **14**, 81 (1914).
[3]) R. Lang, Zentralbl. Mineral. 653 (1914).
[4]) A. a. O. 642, 643.
[5]) P. Vageler, a. a. O. 876.
[6]) W. Meigen, Geolog. Rundschau **2**, 201 (1911).

Wir werden somit andere Wege gehen müssen, als Vageler, obwohl natürlich einzelne Angaben von ihm bestehen bleiben können. Und, wie gleich zuvor gesagt sei, auch in groben Zügen werden wir mit der Erklärung nicht so schnell, wie er glaubte, fertig werden können, wie es ja meist bei Forschungsfragen der Fall ist: Die Schwierigkeiten tauchen um so deutlicher und erheblicher auf, je mehr sich die Kenntnis und Klarheit vertieft. So haben auch die letzten sieben Jahre der Forschung auf dem Gebiet der Bodenkolloide seit Vagelers Ausführungen uns erst die Schwierigkeiten des Lateritproblems vor Augen gebracht, soweit es sich um seine Aufklärung mit Hilfe der Kolloidchemie handelt.

Daß die Kieselsäure durch Hilfe der sich im Boden einstellenden alkalischen Reaktion ausgewaschen wird, gewiß zu nicht unerheblichem Anteil kolloid gelöst, hat P. Vageler zwar richtig ausgeführt. Anders steht es aber bei den Eisen- und Aluminiumverbindungen. Wir müssen, unter Berücksichtigung der sich nach oben zu bildenden Eisenkonkretionen und des Eisenpanzers, unbedingt annehmen, daß das Verhalten des Eisens sich von dem der Tonerde bei der Lateritbildung in irgendeiner grundlegenden Weise unterscheidet. Sonst wäre nicht einzusehen, daß das Eisen Konkretionen und Panzer bildet, daß es aus einer Tiefenzone (J. Walthers „Bleichzone") geradezu nach oben hin ausgelaugt wird, während die Tonerde als Hydrargyllit, oder diesem ähnlich, am Ort ihrer Bildung verbleibt.

Bleiben wir bei kolloidchemischer Betrachtung der Verhältnisse, so sei zunächst die Frage gestattet, ob man denn wirklich weiß, daß Eisenoxyd- und Tonerde-Kolloid im Boden, und zumal in dem Boden zur Zeit der Lateritbildung, beide positiv geladen waren, so daß, wie dies P. Vageler voraussetzt, beide wirklich durch geringe Mengen negativer Ionen zusammengeballt, ausgefällt werden mußten?

Wir rechnen zwar Tonerde- und Eisenhydroxyd-Kolloide unter die positiv geladenen Bodenkolloide. Und nach den Beobachtungen auf unseren Böden, zumal aber in unseren Laboratorien, haben wir dazu auch anscheinend Recht. Indes sind die diesbezüglichen Beobachtungen über die kolloiden Eisenverbindungen in unseren Böden so geringfügig, daß sie beinahe unerwähnt bleiben können. Und dann sind einmal auch negativ geladene Eisenhydroxyd-Kolloide bekannt,[1]) und unsere bisher im Laboratorium untersuchten Eisenhydroxyd-Kolloide sämtlich nur Kunstprodukte; ferner aber haben wir in unseren Böden das gelbe oder braune Eisenhydroxyd vor uns, meist unter Humuseinwirkung; im

[1]) Vgl. oben 67 Anm. 2.

Laterit aber das rote, worauf bereits S. Passarge und vor ihm J. M. van Bemmelen hinwies.[1]) Auch K. Glinka hebt den großen Unterschied des roten Eisenhydroxyds von demjenigen unserer Böden scharf hervor.[2]) Ja, wir wissen nicht einmal genau, ob das rote Eisenhydroxyd der Laterite nicht als Bestandteil Kieselsäure enthält,[3]) obwohl dies mir nicht ganz wahrscheinlich vorkommt, und so nicht etwa ein Eisensilikat darstellt, zum wenigsten in seinen im Boden feinverteilten Anteilen. Jedenfalls liegen Angaben von den beachtenswerten Forschern R. Sachße und A. Becker vor, nach denen „das in den roten Erden vorhandene Eisenoxyd überhaupt nicht oder nur zum kleinsten Teile als freies Eisenoxyd in Form von Hydroxyd vorhanden ist, sondern als wasserhaltiges Silikat.[4]) Eine ähnliche Anschauung vertritt A. Luz,[5]) sowie G. C. Du Bois,[6]) weiter J. van Baren.[7])

Ich möchte nun die Ansicht aufstellen, daß das rote Eisenhydroxydkolloid der Laterite entweder von seiner Entstehung her negativ elektrisch geladen ist oder jedenfalls durch starke Adsorption von Hydroxylion negativ umgeladen wurde. Solche Umladung kann nichts Auffälliges bieten, da sie bei zahlreichen anderen Kolloiden beobachtet wurde.[8])

Zudem läßt sich ein, freilich nicht für alle Fälle beweisender, aber immerhin recht beachtenswerter Grund dafür beibringen. Wenn man Lateritböden mit ammoniakhaltigem Wasser stark schüttelt, so löst sich ein meist ziemlich erheblicher Teil vorher sandig oder wenigstens staubartig erscheinender Teilchen in feinsten, in Wasser lange Zeit schwebenden Schlamm auf. Daß der Laterit diese anscheinende Sandbeschaffenheit der Verklebung durch rotes Eisenhydroxyd verdankt, die gleichzeitig der Grund für seine erhebliche Wasserdurchlässigkeit ist, stellt E. C. J. Mohr an verschiedenen Stellen fest.[9]) Auch zeigen die Laterite vielfach gerade in den feinsten Fraktionen ihrer Schlämmungen größere Mengen

[1]) Vgl. oben 424, Anm. 1.

[2]) K. Glinka, Bodentypen, 55 (Berlin 1914).

[3]) J. M. van Bemmelen, Arch. Néerland. Sciences exact. natur. (2), **10** 236 (1905); E. Ramann, Bodenk., 3. Aufl. 246/7, (1911).

[4]) R. Sachse und A. Becker, Landw. Versuchsstat. **41**, 462 (1892).

[5]) A. Luz, Kolloid-Zeitschr. **14**, 87 (1914).

[6]) A. a. O.

[7]) J. van Baren, Intern. Mittlg. Bodenk. **1**, 357 (1911).

[8]) Vgl. Literatur bei Wo. Ostwald, Grundriß d. Kolloidchemie, 1. Aufl., 235 (1909); R. Zsigmondy Kolloidchem., 45 (1912); auch oben 85.

[9]) E. C. J. Mohr, Bull. départm. agricult. Indes Néerland. **47**, 17, 21, 25 (1911).

von Eisenoxyd.[1]) Zudem ist lange, bevor man sich überhaupt eingehender mit dem Lateritproblem befaßte, die gleiche Beobachtung, daß Ammoniak den Zusammenhang der Krümelchen roten lateritischen Bodens löst, schon in Amerika gemacht worden. M. Whitney[2]) teilt nämlich mit, daß in Südkarolina bei Wedgefield rote Böden vorkommen. Zwischen einem Sand und einem roten Boden kommt ein grober roter Sand vor, der nach der mechanischen Analyse doch fast so viel Ton, d. h. feinste, schwebende Teilchen, enthält, wie der rote Boden. Durch diesen Sand lief das Wasser, statt der aus seinem „Ton"gehalt berechneten 130 Minuten tatsächlich in 14—16 Minuten. Der Boden war also grobkörniger, als er erschien. Als aber bei einem Versuch dem Wasser einige Tropfen Ammoniak zugesetzt wurden, durchlief es den Boden sofort langsam und brauchte mehr als 2000 Minuten Zeit dazu. Also wohl auch hier ein offenbar durch rotes Eisenhydroxyd zu Krümeln verbundener fossiler Laterit, dessen Eisenhydroxyd durch Ammoniak gelöst und verteilt wird. Auch sonst ist die Ähnlichkeit des von M. Whitney geschilderten Bodens mit dem Javaner Laterit E. C. J. Mohrs in die Augen fallend. Der erste scheint auch, da er in Ackerkultur natürlich oft keine schützende Pflanzendecke hat, wie der andere zusammenzuschlämmen. Wenn nun durch Ammoniak also auch bei E. C. J. Mohr die durch rotes Eisenhydroxyd verkitteten Bodenkrümel sich auflösen,[3]) so muß das so in kolloide Lösung gehende Eisen eben durch Ammoniak, oder mit anderen Worten und besser, durch Hydroxylion verteilt, in den Solzustand überführt werden. Daran ist nicht zu zweifeln Dann muß das rote Eisenhydroxyd aber negativ elektrisch geladen sein. — Versuche, welche mit ausreichenden Bodenproben, die von wirklichen Lateritprofilen ohne sekundäre Veränderung stammen, durchzuführen wären, würden dies wahrscheinlich noch deutlicher beweisen. E. C. J. Mohrs Beobachtung der Verteilung durch Ammoniak stammt jedenfalls von roten Lateritböden.

Daß an der Hand solcher Tatsachen die Annahme Vagelers unhaltbar ist, das Eisen würde bei der Lateritbildung an Ort und Stelle, und zwar infolge der alkalischen Reaktion, mit anderen Worten durch die Hydroxylionen abgeschieden, wird kaum bezweifelt werden können. Für uns aber ergibt die verschiedene elektrische Ladung der Aluminiumhydroxyd- wie der Eisenhydroxydkolloide im Lateritboden bei seiner Bildung den Schlüssel für das ganze Lateritproblem, so weit man es bei

[1]) Ebenda 15, auch W. Graf zu Leiningen, Koll.-Zeitschr. **19**, 170 (1916).
[2]) M. Whitney, U. S. Departm. Agricult. Wheater Bur. Bull. **4**. 45/47 (1892).
[3]) E. C. J. Mohr, a. a. O. 17 u. 18.

der bisherigen Knappheit an wirklich brauchbaren Angaben in der Literatur eben überhaupt zurzeit zu lösen vermag. Daß neue Forschung auch andersgeartete Erklärungen beibringen kann — allerdings im wesentlichen meiner Meinung nach kaum wird —, ist dabei natürlich vorzubehalten.

Wir nehmen daher folgende Erklärung der Lateritbildung an: In einem durchaus trockenen, nur für knappe Wochen sehr starke Regengüsse liefernden Klima, wie es uns etwa schon feuchter noch heute nach A. Lacroix in Französisch-Guinea, nach J. Walther im Nordteile Westaustraliens entgegentritt, in einem Klima, das jedenfalls eine Humusbildung nicht ermöglicht, weil die Feuchtigkeit dazu nicht ausreicht, und in tropischer Temperatur kommt Zersetzung anstehender Gesteine und ihnen aufliegender Verwitterungsdecken anderer Herkunft durch das hydrolytisch stark gespaltene Wasser zustande. Unter vorherrschender alkalischer Reaktion wird die Kieselsäure mit den Alkalien mehr und mehr gelöst, ebenso werden alkalische Erden durch die großen Wassermengen ausgewaschen. Das Eisen wird als negativ geladenes rotes Eisenhydroxydkolloid zunächst ausgeschieden, geht aber nach Beseitigung der alkalischen Erden unter dem Einfluß der alkalischen Reaktion kolloid wieder in Lösung. Indessen wird es, im Gegensatz zur Kieselsäure, von den Bodenteilen stark adsorbiert, so daß es hierdurch einen gewissen Schutz vor der Auswaschung genießt. Dieser würde freilich bei dauernder, starker Befeuchtung in keiner Weise ausreichen können. So schnell und stark aber die Niederschläge den Boden durchspülten, so schnell sind sie auch wieder verschwunden. Daher kommt es auch wohl nicht in besonders erheblichem Umfange zum Durchschlämmen, zur Hinabspülung von feinsten Bodenteilchen, gegen die auch die Adsorption des Eisenhydroxyds und die hierdurch bedingte, merklich zusammenballende Wirkung ein gewisses Gegenmittel bildet, während sonst die Wassermengen und die alkalische Reaktion auf solche Erscheinungen hinwirken müßten. Die alkalische Reaktion ist übrigens nur bei Beginn der kurzen Regenzeit eine stärkere, da die ausgiebigen Wassermengen den Boden verhältnismäßig rasch auswaschen müssen, und auch kein Grund dagegen anzunehmen ist, daß sie gerade in einer kühleren Jahreszeit mit schwächerer Hydrolyse fielen. Die positiv geladenen Tonerdekolloide bleiben unter dem Einfluß der alkalischen Reaktion an ihrem Entstehungsort, in ausgeflocktem Zustande, festgelegt.

Beim Abschluß der Regenzeit sind demnach die löslich gewordenen Verbindungen der alkalischen Erden und der Alkalien ausgewaschen, das Eisen soweit es löslich geworden war, zum größeren Teil als rotes, negativ

geladenes Eisenhydroxydkolloid an Bodenteilchen adsorbiert, wobei es immerhin auch in tiefere Schichten verlagert sein mag, zum kleineren Teil ausgewaschen. Die löslich gewordene Kieselsäure, die einen derartigen Adsorptionsschutz in größerem Umfange nicht genießt, ist ausgewaschen, die Tonerde an ihrem Platz verblieben. Der Boden ist durch und durch stark befeuchtet.

Die nun beginnende, mit erhöhter Wärme zusammengehende Trockenzeit bietet zunächst in dem feuchten Boden recht eigentlich die Bedingungen der Gesteinszersetzung. Die Alkalität, die bereits kurz nach Beginn der Regenzeit infolge der Wassermengen ganz erheblich gesunken war, steigt unter der Wirkung der sich zersetzenden Alkalisilikate der Gesteine und der Temperaturerhöhung, sowie der steigenden Konzentration der Bodenflüssigkeit nach Aufhören der Niederschläge. Hierdurch wird einmal die Zersetzung der Mineralien beschleunigt, dann aber wird das stark adsorbierbare, elektronegative Hydroxylion das adsorbierte, negative rote Eisenhydroxydkolloid erheblich von den Oberflächen der Bodenteilchen verdrängen und in Solform in die Bodenlösung zurückführen, weil jetzt mit steigender Alkalität das Hydroxylion durch Massenwirkung in wesentlich stärkerem Umfange adsorbiert wird. Das elektropositive Aluminiumhydroxyd verbleibt wieder an seinem Platz, die neu zur Lösung kommende Kieselsäure geht wie das Eisenhydroxyd in Solform in die Bodenlösung.

Zunächst in geringerem Umfange wegen der noch von der Regenzeit her den Boden bedeckenden Vegetation, dann, wenn diese unter dem Einfluß der zunehmenden Trockenheit ihr Wachstum mehr und mehr einstellt, stärker und stärker müssen nun die Bodenlösungen emporsteigen, von den Sonnenstrahlen und der unter ihrem Einfluß zunehmenden Verdunstung der Oberfläche emporgezwungen. Kieselsäure, Alkalien, Eisenhydroxyd wandern empor, mit ihnen wohl auch ein Teil der feinen Teilchen, der gesteigerten Anwesenheit von Hydroxylion halber. Unter dem Einfluß der Sonnenwärme und der abnehmenden Feuchtigkeit kommt es dann in den oberen und obersten Bodenschichten zum Ausfallen des Eisenhydroxydkolloids, zu Ausblühungen von Alkalisalzen, die möglicherweise vom Winde verweht werden, und in geringerem Umfange auch zur Anhäufung von kolloider Kieselsäure und löslichen Alkalisilikaten. Diese werden nämlich, ihrer mit zunehmender Konzentration stark steigenden inneren Reibung[1]) halber, wohl zumeist schon in etwas größerer Tiefe halt machen, während die Salze und das Eisenhydroxydkolloid bis an

[1]) H. Garret, Inauguraldissertat. Heidelberg 51 (1903).

die Oberfläche dringen. Die mehr und mehr steigende Hitze muß die Oberfläche bis in gewisse Tiefen zum Austrocknen bringen, während darunter, zum Teil auch durch die Hygroskopizität der Salze, der Boden bis auf das unzersetzte Gestein einen gewissen Feuchtigkeitsgehalt behält, der die weitere Zersetzung der Mineralien wesentlich fördert.[1] In den austrocknenden oberen Bodenschichten aber fällt zunächst unter dem Einfluß steigender Konzentration der Bodenlösung das Eisenhydroxydkolloid aus, wird zum Gel, und „altert" dann, wie dies von seinen zu Laboratoriumsversuchen benutzten anderen Formen ja ohnehin bekannt ist, auch in seiner hier in Betracht kommenden, roten, negativ geladenen Modifikation um so mehr, als zu dem Austrocknen eine gewiß ganz erhebliche Grade erreichende Erwärmung hinzutritt.[2] Nach S. Passarge verlieren auch die roten, etwa aus Eisenoxydsalzen in alkalischer Lösung entstandenen Eisenhydroxyde ihr Wasser leichter als die gelben.[3] Mit Fortgang des Wassers werden aber die Eisenhydroxyde zunehmend unlöslich, sie verlieren ihre Kolloideigenschaften mehr und mehr.

Naht wiederum die Regenzeit heran, so ist die Zersetzung der Gesteinsteile unter dem Einfluß von Hitze und stärkerer alkalischer Reaktion in den tieferen Bodenschichten erheblich weiter fortgeschritten. In den oberen Schichten hat sich durch das emporsteigende und an der Oberfläche verdunstende Wasser der Inhalt der Bodenlösung, und darunter besonders Alkalisalz und Eisenhydroxyd, tiefer auch lösliches Alkalisilikat und kolloide Kieselsäure, angereichert. Indessen wird auch in tieferen Schichten durch die mit steigender Verdunstung zunehmende Alkalikonzentration Eisenhydroxyd vielfach ausgefallen sein und sich in, die feinen Bodenteilchen verbindenden, Häutchen und Flöckchen[4] ausgeschieden haben. Das an seinem Platz verharrende Tonerdekolloid ist wesentlich unbeeinflußt geblieben.

Jetzt wird in der kurzen Regenzeit das Land wieder stark durchwässert. Die Alkalisalze lösen sich schnell und kommen zu rascher Auswaschung; mit ihnen auch die kolloide Kieselsäure. Das Eisenhydroxyd-

[1]) J. Walther, Petermanns Mittlg. **62**, 7 (1916); B. L. Rice, Mysore **1**, 26 (Westminster 1897); H. v. Schlagintweit-Sakünlünski. Reisen in Indien u. Hochasien **1**, 143 (Jena 1869).

[2]) Vgl. J. M. van Bemmelen, Absorption, 71 (Dresden 1910). ebenda auch 75, 389, 391.

[3]) S. Passarge, 6. Intern. Geolog. Kongr. London 1895.

[4]) W. Graf zu Leiningen wies darauf hin, daß die rotgefärbten Teile von Lateriten den allerfeinsten Korngrößen angehören, Koll. Zeitschr. **19**, 170 (1916); vorher bereits E. C. J. Mohr, a. a. O. 15.

kolloid wird, so weit es noch nicht durch den Alterungsvorgang unlöslich geworden ist, auch in Lösung gehen, aber beim Niedersteigen im Boden voraussichtlich weitgehend durch Adsorption festgehalten werden. Ein wesentlicher, wahrscheinlich sogar überwiegender Teil, zumal in den oberen und obersten Bodenschichten, ist indessen unlöslich geworden, und so bleiben diese mit gealtertem, schwerer löslichen Eisenkolloid roter Farbe angereichert; die kolloide Tonerde bleibt, da die Reaktion der Bodenlösung ständig, wenn auch während der Regenzeit wohl nur schwach, alkalisch ist, unbeeinflußt an ihrem Platze.

Die Trockenzeit fördert dann die Zersetzung des Gesteins weiter und hebt mit der Bodenlösung neben anderen Bestandteilen derselben kolloides, rotes Eisenhydroxyd bis in die Oberfläche empor, läßt es wesentlich hier, aber zum Teil auch schon in oberen Schichten, ausfallen, und dann durch bald eintretende Trockenheit und hohe Wärmegrade mehr und mehr unlöslich werden.

So kommt es in steigendem Maße zur Beseitigung der Alkalien und der Kieselsäure, zur Wanderung des Eisenhydroxyds in die oberen Bodenschichten, und Festlegung desselben dort im unlöslichen Zustande, bei langer Dauer des Vorganges nicht nur in Einzelkonkretionen, sondern in einem mehr zusammenhängenden, aber zelligen, durchlässigen Eisenpanzer.

Es tritt indessen noch eine Besonderheit hinzu, die auf die Erhaltung des Eisens, die Beseitigung der Kieselsäure besonders hinwirkt, und die wir in der leichten Durchlässigkeit der „Sandigkeit", der Porosität des Laterits noch jetzt erkennen können: Die Verklebung, Verkittung der Bodenteilchen unter dem Einfluß des Eisenhydroxyds auch in tieferen Bodenschichten.

Negativ geladenes, rotes Eisenhydroxydkolloid muß auch durch Alkalikarbonat- und ähnliche Lösungen ausgefällt werden, wenn diese eine hinreichende Konzentration annehmen, das ist zweifellos, wie auch Ton durch höher konzentrierte Sodalösungen versteift bzw. ausgeflockt wird. In der Trockenzeit wird solche Ausfällung der Eisenhydroxyde in unserem entstehenden Laterit bis in ziemlich tiefe Schichten eintreten, und zwar nach der Oberfläche zu, entsprechend der ansteigenden Konzentration, immer mehr und immer dauerhafter. In der Tiefe wird sie von um so geringerer Dauerhaftigkeit sein, als der Boden auch während der Trockenzeit noch länger oder dauernd feucht bleibt. Die natürliche Folge solcher Bildung von die Bodenkörnchen in ihrer Lage festigenden Fäden, Häutchen und Bindungen von Eisenhydroxyd ist eine lockere, poröse Lagerung des Bodens, die auch eine gewisse Widerstandsfähigkeit gegen

Wasserandrang besitzt, und zwar um so mehr, je dauerhafter die Ausflockung des Eisenhydroxyds gewesen ist, was wieder mit der Nähe zur Bodenoberfläche und der Austrocknung zusammenhängen muß.

Auf diese Weise, also durch Eisenhydroxydadsorption, Ausfällung und Bildung von Überzügen usw., wirkt das Eisenhydroxyd auf Erhöhung und Erhaltung der Durchlässigkeit des Bodens hin, worauf E. C. J. Mohr auf Grund seiner Erfahrungen in Lateritgegenden ausführlich hingewiesen hat.[1]) Es muß demnach zu Beginn der Regenzeit der Boden, zumal in seinen höheren Schichten, die bekannte Porosität und Durchlässigkeit für Wasser und Luft aufweisen, die den Lateritboden nach Angabe einer ganzen Reihe von Forschern kennzeichnet.[2]) Hierdurch wird indessen wieder während der Regenzeit die Erhaltung des Eisenhydroxyds im Boden an den Stellen, bis zu denen es emporsteigen konnte, gefördert, selbst wenn es noch nicht zu einem vollen Altern durch Austrocknen und Wärme, das die Lösung ausschließt, gekommen sein sollte. Das Wasser wird nämlich durch den sehr porösen und äußerst schnell wieder abtrocknenden Boden rasch in die Tiefe geleitet, wobei es die leicht löslichen Alkalisilikate und Alkalisalze und auch wohl mit ihrer Hilfe die Kieselsäure mit fort nimmt. Die Lösung des in Gelform vorhandenen, negativ geladenen, roten Eisenhydroxydkolloids dürfte indessen durch schnelle Ableitung des Wassers erschwert werden, wenngleich sie auch in gewisser Ausdehnung stattfinden mag; es tritt dann aber vielfach noch Festlegung durch Adsorption ein. Alsbald nach dem auch etwa nur zeitweisen Aufhören des Regens hat die Luft wieder Zutritt zum Boden, derselbe beginnt abzutrocknen, wie wir es etwa in Deutschland nur von sandigen, humusärmeren Ländereien kennen. So beginnt alsbald wieder das Emporsteigen der Bodenlösung. — Im Laufe von Jahrhunderten kommt es so zur völligen oder nahezu völligen Auslaugung der Alkalien, alkalischen Erden und der Kieselsäure, zum Emporsteigen des Eisens, zum Teil bis in die obersten Schichten, wo es den Eisenpanzer bildet, und zum Verharren der Tonerdekolloide auf ihrem Platze. Wie weit unter dem Einfluß von Wärme und Zeit Eisenhydroxyd und Tonerde in einen kristallinischen Zustand übergehen mögen, kann hier nicht behandelt werden. Dagegen ist der Bleichzone noch ein Wort der Erklärung zu

---

[1]) E. C. J. Mohr, Bull. Départm. Agricult. Indes Néerland., **47**, 16/17, 21, 22, 25, 66 (1911).

[2]) Außer den Angaben oben 431 noch A. Lacroix, Nouv. arch. Mus. hist. nat. Paris (5) **5**, 255 (1914); C. Ulpiani, Staz. sperin. agr. ital. **45**, 645 (1912); W. Meigen, Geol. Rundschau **2**, 199 (1911); H. Meyer, Kilimandjaro, (Berlin 1909).

widmen. Daß die Fleckenzone von J. Walther nichts weiter darstellt, als das verwitterte Gestein, dem das Eisen zum Teil nach oben entzogen ist, zum Teil aber noch in roten Flecken, Körnchenüberzügen, Anfängen von Konkretionen u. dgl. beigemengt verblieb, bedarf kaum weiterer Darlegung. Die Bleichzone dagegen wird wahrscheinlich mit dem Grundwasser in Beziehung stehen, worauf bereits E. C. J. Mohr hinwies.[1]) Das heißt, sie verliert in der Trockenzeit ihr Eisen nach oben, in der feuchten Zeit aber wohl nach unten. Besonders kommt es aber in ihr, weil sie ständig, sei es durch Grundwasser, sei es durch hygroskopische Salze, und ihre Lagerung in der Tiefe befeuchtet ist — auch nach Angaben von J. Walther[2]) ist aber wohl mehr das erste anzunehmen, da die Bleichzone mit ihrem Wasser Pflanzen ernährt, und dazu durch hygroskopische Salze festgehaltenes Wasser kaum in der Lage sein dürfte —, kommt es also in ihr nicht zur Ausscheidung des elektrisch negativen roten Eisenhydroxyds, da in dieser feuchteren Bodenschicht die Konzentration der Alkalien kaum so hoch wird, daß sie genügt, um das Eisenhydroxyd gründlicher auszufällen. Daher seine Auswaschung nach unten in der Regenzeit, sein Auswandern nach oben in der Trockenzeit. So entsteht also bei der Lateritbildung die Bleichzone so weit in der Tiefe, als eine dauernde Anfeuchtung es dort nicht zu höherer Alkalikonzentration kommen läßt. Auch in höheren Lagen werden noch einzelne, aus irgendwelchen Gründen feuchtere Bodenstellen derart ausgebleicht werden.

Dieser Umstand erklärt gleichzeitig noch eine Eigenschaft der Bleichzone: ihr Boden läßt sich kneten, ist im größeren oder geringeren Gegensatz zum eigentlichen roten Laterit bildsam, tonähnlich. Der Grund ist der, daß der Ton, der sich auch in Lateritböden meist in geringerem Umfange finden wird, wenn auch vielleicht nicht gerade durchaus und in jeder Beziehung mit unserem Ton vergleichbar, daß also der Ton im roten Laterit durch das Eisenhydroxyd in feine Krümel oder Körnchen umgewandelt, zum mindesten aber wohl ausgefällt ist, so daß er seine Bildsamkeit verloren hat. E. C. J. Mohr hat deutlich darauf hingewiesen, daß durch Alkali, wie auch durch das wohl auch noch jetzt alkalische Regenwasser der Tropen[3]) Lateritboden schnell sein eigentliches Gefüge verliert, in einzelne feinste Teilchen zerfällt, und dann, wie unsere Ton-

[1]) E. C. J. Mohr, Bull. Départm. Agric. Indes Néerland. **17**, 2 (1908).

[2]) J. Walther, a. a. O. 7; B. L. Rice, Mysore **1**, 26 (Westminster 1897).

[3]) Alkalisch insofern, als es bei seiner Elektrolytarmut und den hohen Tropentemperaturen voraussichtlich schnell in Berührung mit dem Erdboden alkalische Reaktion erhält.

böden, „zuschlägt", verschlämmt;[1]) ebenso, daß das Eisenhydroxyd dem Lateritboden sein eigenartiges Gefüge verleiht. Fehlt es, so muß der Boden in seiner Gesamtheit so erscheinen, wie durch viel Regen „zugeschlagener" Lateritboden, also tonähnlich. Daß tatsächlich dieser Zusammenhang uns die Erscheinung der Bleichzone erklärt, läßt sich aus Angaben von E. C. J. Mohr beweisen, wie denn dieser Forscher viel wertvollstes Material beigebracht hat, obwohl er den eigentlichen Zusammenhang der Lateritbildung selbst noch nicht erschließen konnte. — Mohr gibt ein Bodenprofil, das im wesentlichen einen wohl zum Teil abgetragenen und dann durch sekundäre, humose Verwitterung umgewandelten Laterit darstellt.[2]) Lassen wir die humose Oberkrume und ihren Untergrund fort, so liegt „Tjadas" in fleischfarbener Schicht „b" u. „c" auf einer ockergelben Schicht „d", der dann eine grauviolette bis weiße Schicht „e" folgt. Die ockergelbe Schicht „d" Mohrs ist meiner Ansicht nach sekundär durch humose Verwitterung umgewandelter Laterit. R. Lang wies ja deutlich darauf hin, daß gerade an der Grenze zwischen Laterit und unverwittertem Gestein, in der Tiefe, sich häufig rostbraune Farben zwischen die rotgefärbten Lateritpartien einschieben.[3]) Da nun in diesem Fall unter „d" ein „schwerer, undurchlässiger Ton" liegt — wir haben über ihn noch zu sprechen, es ist die grauviolette bis weiße Schicht „e", die Bleichzone —, so erklärt es sich leicht, daß auf dieser immerhin schwerer durchlässigen Unterlage[4]) die humosen Wässer sich verbreiten, die durch irgendwelche Klüfte und Spalten herabgesunken sind, und nun von unten aus den fleischroten Laterit angreifen und verändern, so die ockergelbe Schicht „d" bildend. Für unsere Betrachtung können wir daher auch diese Schicht „d" unbeachtet lassen, und behalten so den fleischroten Tjadas, den Laterit, der uns die Fleckenzone J. Walthers charakterisiert, und die darunter liegende Bleichzone, Mohrs grauviolette bis weiße Schicht „e". Was sagt nun Mohr von beiden? „Die Schicht e (Bleichzone) ist nun, wiewohl in der Farbe so ganz etwas anderes, der Schicht b (Fleckenzone, einschließlich „c"), in der Form der Kurve (ihrer Schlämmanalyse) auffallend ähnlich. Auch hier etwa 60 % Schwebelutum (feinste Schwebeteilchen) und etwa 30 % Staub zwischen $^1/_2$ und 20 μ. Und doch ist der Unterschied physisch außerordentlich groß; b ist ein lockerer, für Wasser und

[1]) E. C. J. Mohr, Bull. Départm. Agric. Indes Néerland. **47**, 17 (1911).
[2]) E. C. J. Mohr, a. a. O., 20 u. f.
[3]) R. Lang, Zentralbl. Mineral. 154 (1915).
[4]) B. L. Rice, Mysore **1**. 26 (Westminster 1897).

Luft sehr durchlässiger Boden, welcher eintrocknend leicht von selbst verkrümelt, und daher kein Ton, sondern Lehm genannt wird, e dagegen ist schwerer, undurchlässiger Ton, beim Eintrocknen große, steinharte Klumpen bildend. Die Schicht b ist dagegen anders. Auch sie enthält mehr als die Hälfte Tonsubstanz; daneben aber — in dem Schwebelutum — etwa 10% kolloides Eisenoxyd, wodurch nicht allein die Farbe, sondern auch die Kohärenz der Teilchen dermaßen abgeändert wird, daß der landwirtschaftliche Begriff Ton eigentlich verloren geht."[1])

Das heißt also, beide Schichten unterscheiden sich nur durch ihren Gehalt an Eisenhydroxyd, wovon die untere nichts besitzt Genau das gleiche, wie es für Flecken- und Bleichzone bezeichnend und erklärlich ist. Fügen wir noch hinzu, daß nach E. C. J. Mohr[2]) die Schicht e, die Bleichzone, so gut wie feldspatfrei ist und jetzt unter oder an dem Grundwasserspiegel liegt, so haben wir tatsächlich Grund genug, hier ein altes Lateritprofil mit Flecken- und Bleichzone zu erkennen, und gleichzeitig für die Bleichzonenbildung überhaupt den Stand des Grundwassers wieder als bedeutungsvoll zu erkennen. In ihr mag sich nun, wie wir dies bereits oben erwähnten, schon beim Vorgang der Lateritbildung eine gewisse Menge feinster Teilchen angesammelt haben, die durch Durchschlämmung nach unten verlagert wurden, oder später, bei der neu einsetzenden Umbildung des Laterits durch humushaltige Wässer, so daß dadurch der Toncharakter schärfer hervortrat. Vielleicht ist aber, wie man auch aus J. Walthers Angaben entnehmen möchte, schon an und für sich ihre Beschaffenheit als „knetbar weiche Masse" unserem Ton wesensähnlich.

Damit glaube ich, die Behandlung des Lateritproblems nach dem heutigen Stande unserer Erkenntnis gegeben zu haben und abschließen zu können.

Nur noch ein Umstand sei erwähnt. Nach einer sehr dankenswerten Mitteilung von Herrn Kollegen R. Zsigmondy[3]) hat derselbe ein künstliches, eisenoxydhaltiges Wasserglas unter Händen gehabt, das sich in Wasser auflöste und dabei eine sehr schwer absetzende Menge äußerst feiner Teilchen von Eisenhydroxyd oder Eisensilikat ergab. Hier hätten wir also ein Kunstprodukt, das ebenso in Gemeinschaft mit Alkalisilikaten entstanden ist, und gleichfalls sich bei alkalischer Reaktion

[1]) A. a. O. 20/21 mit Kürzungen.
[2]) A. a. O. 25; ähnlich B. L. Rice, a. a. O.
[3]) Persönliche unveröffentlichte Mitteilung.

suspendiert zeigte, wie ich das für unser negativ geladenes, rotes Eisenhydroxyd angenommen habe. Meine durch diese Beobachtung und durch die oben angeführte Feststellung E. C. J. Mohrs gestützte Annahme steht demnach nicht auf gar so schwachen Füßen.

Daß dann, wenn nur geringe Mengen von Eisenverbindungen in dem der Laterisierung unterliegenden Gestein vorhanden sind, vielleicht auch gewisse Mengen von an die Oberfläche gelangender kolloider Kieselsäure unlöslich werden und dann eine verkieselte Kruste bilden, würde mit den bisherigen Ausführungen nicht durchaus im Widerspruch stehen; es wäre zudem möglich, daß bei Mangel an Eisenverbindungen in der Bodenlösung die Lösungs- und Abscheidungsverhältnisse der Kieselsäure sich noch etwas anders gestalten. So wären die von J. T. Jutson mitgeteilten, oben erwähnten Beobachtungen kaum ein Hindernis gegen die Annahme der von mir vertretenen Anschauungen.

Daß ich hier der Verlagerung, Umwandlung und Aufbereitung des Laterits keine weiteren Ausführungen zu widmen habe, wird bei der noch größeren Unkenntnis, die bislang auf diesem Gebiet herrscht, nicht wundernehmen können.

Ebenso liegen die Verhältnisse bei den Roterden. Hier würde zunächst einmal eine Untersuchung chemischer wie kolloidchemischer Art über das in ihnen enthaltene Eisenhydroxyd im Vergleich zu dem gelbbraunen Eisenhydroxyd unserer Böden bedeutungsvoll sein, damit man über die Möglichkeit einer Wanderung desselben unter dem Einfluß etwaiger Aufladung durch Hydroxylionen unterrichtet wäre. Trotzdem scheint mir die Schwierigkeit der Deutung solcher Roterdebildungen noch eine ungleich größere als beim Laterit, es sei denn, daß es gelänge, in anderen Erdteilen bezeichnende Roterdeprofile in ungestörter Lagerung aufzufinden, wie dies für die Aufklärung der Lateritbildung so bedeutungsvoll war. Denn, ob die in den mittelländischen Küstenländern z. B. festzustellenden Roterden noch in Bildung begriffen sind, und ob sie ursprüngliche Verhältnisse darstellen, wird steigenden Zweifeln begegnen, seitdem die Bildung des Laterits in jedenfalls weitaus den meisten Fällen als fossil angesehen werden dürfte.[1])

[1]) Vielleicht darf ich die Bitte an diese Ausführungen anschließen, etwa verfügbar werdende Proben von Laterit möglichst in ganzen, dem Profil entsprechenden Reihen, am besten allerdings unter Entnahme von möglichst wenig sekundär veränderten Stellen, genau bezeichnet an das agrikulturchemische Institut der Universität Göttingen einsenden zu wollen. Auch sind nähere Angaben und Hinweise über die vorliegende Frage dort sehr willkommen. Die Proben sollten nicht unter zwei bis drei Kilo für die Einzelprobe groß sein.

2. Tiere.

a) Protozoen u. dgl.

Über die Einflüsse, welche Tiere in der freien Natur auf die Bodenkolloide ausüben, kann nicht allzuviel berichtet werden. Niedere Tiere, von Protozoen an, mögen gelegentlich im Boden dadurch eine Rolle spielen, daß sie Schleim bilden und ebenso wie niedere Pflanzen [1]) auf diese Weise zum Aneinanderkleben von Bodenteilchen beitragen. Diese niedere Bodenfauna muß selbstverständlich bezüglich der Menge, in der sie auftritt, von der ihr Nahrung bietenden Bodenflora abhängig sein.[2]) So wird es nicht wundernehmen, wenn in an sich zersetzenden Stoffen verhältnismäßig reichen Böden, wie bei guter Durchlüftung und auch sonst günstigen Befeuchtungs- usw. Verhältnissen wohl auch die Kleintiere des Bodens noch verhältnismäßig am stärksten durch ihre Schleimbildung auf die Bodenbeschaffenheit zu wirken vermögen. Unsere Kenntnis der Kleintiere des Bodens ist aber seit C. Sprengels[3]) gelegentlicher Beobachtung, daß im schlammigen Boden oft große Mengen von Infusionstierchen leben, leider nicht allzu weitgehend gefördert worden,[4]) gar nicht aber in einer Richtung, die hier für unsern Zweck Schlüsse zu ziehen erlaubte. Wenn es übrigens noch erforderlich wäre, den Beweis zu erbringen, daß der tierische Schleim ein Kolloid darstellt, so würden dazu die diesbezüglichen Untersuchungen des soeben genannten Forschers ausreichen.[5])

Es mag unter diesen Umständen hier auf gelegentliche spätere

[1]) J. Früh, Torf und Dopplerit (Zürich 1883) 20 ff., nimmt wohl nicht ganz überzeugend an, daß Lebertorf durch den von eingelagerten Algen herrührenden Schleim seine elastische Beschaffenheit erhalten hat. Ich sehe darin nur eine Äußerung seiner kolloiden Eigenschaften.

[2]) Ich konnte vor mehr als 15 Jahren beobachten, daß in Azotobakterrohkulturen diese Bakterien von Protozoen in reichlichen Mengen verzehrt wurden.

[3]) C. Sprengel, Bodenkunde, 2. Aufl. (1844) 220.

[4]) Nur nach einer bestimmten Richtung hin hat sich dies in den letzten Jahren geändert, obwohl dabei etwas übers Ziel hinausschießende Ansichten gezeitigt worden sein dürften. Z. B.: E. J. Russell und H. B. Hutchinson, Journ. agric. Scienc. **3** (2), 111 (1909); E. J. Russell und J. Golding, ebenda **5**, 27 (1912); E. J. Russell und F. R. Petherbridge, ebenda 86; E. J. Russell und H. B. Hutchinson, ebenda **5** (2), 152 (1913); R. Greig-Smith, Proc. Linn. Soc. N. S. Wales Abstr. (1912) 2; F. Löhnis und A. Cunningham, Zentralbl. Bakt. (2) **39**, 596 (1914); A. Cauda und G. Sangiorgi, ebenda **42**, 393 (1915); A. Cunningham, ebenda **43**, 1 (1915); G. P. Koch, Journ. Agric. Research **4**, 511 (1914); **5**, 477 (1915) usw.

[5]) C. Sprengel, Chemie f. Landw. **2**, 520 (1832).

Notizen verwiesen, im wesentlichen aber der Hoffnung Ausdruck gegeben sein, daß die fortschreitende Erkenntnis mehr Klarheit schaffen wird. Zurzeit jedenfalls dürfen wir nicht annehmen, daß der Schleim von Kleintieren im Boden wesentliche Wirkungen ausübt.

b) **Insekten u. dgl.**

Was die größeren Lebewesen tierischer Art anbelangt, so müssen Insekten und andere Kleintiere zwar eine erhebliche Rolle bei der Zersetzung der pflanzlichen Überreste namentlich im Walde und damit bei der Humusbildung spielen, wie H. v. Post,[1] P. E. Müller[2] u. a. feststellten. Das hat für unsere Frage nach der Wirkung der Tierwelt auf die Bodenkolloide indes keine Bedeutung. Wichtiger schon wird die Lockerung des Bodens sein, die wir, wie oben dem Einfluß der Pflanzen, nun zum Teil auch der Wirkung der Tiere dort zuschreiben müssen, wo die Hand des Menschen nicht eingreift. Schon A. v. Rosenberg-Lipinsky,[3] dann P. E. Müller,[4] wiesen darauf hin, daß tunnelgrabende Insekten, wühlende Larven, Tausendfüßler, Araneen, Landisopoden u. a. eine Lockerung und Mischung der Erdoberfläche bewirken werden. Die Bedeutung der Asseln hebt M. Oettli hervor.[5] Weiter seien Angaben von K. Diem verglichen.[6] Von den Ameisen, zumal den erdbewohnenden, weiß jeder, daß sie durch ihre Bauten zur Bodenlockerung beitragen. Und daß Engerlinge,[7] Drahtwürmer, Maulwurfsgrillen und ähnliches Getier[8] in der Erde leben und wühlen, muß der Landwirt häufig nur zu deutlich erfahren. In den Tropen gewinnt diese Tätigkeit der mittleren Tierwelt einen meist sehr viel größeren Umfang für die Bodenlockerung,[9] nicht zum wenigsten

[1]) H. v. Post, K. Svensk. Vetensk. Akad. Handl. (Stockholm 1861/62) 4; ein Referat darüber in Landw. Jahrb. **17**, 405 (1888).

[2]) P. E. Müller, Stud. natürl. Humusform. (Berlin 1887) 56, 234.

[3]) A. v Rosenberg-Lipinsky, Prakt. Ackerbau, 7. Aufl., **2**, 27 (Breslau 1890).

[4]) P. E. Müller, a. a. O. 59, 172, 234.

[5]) M. Oettli, Jahrb. St. Gall. Naturw. Gesellsch. 1903, 260, (Sankt Gallen 1904).

[6]) K. Diem, Jahrb. St. Gall. Naturw. Gesellsch. 1901/02, 234 u. f. bes. 402—405, (Sankt Gallen 1903).

[7]) M. Kienitz, Zeitschr. Forst- u. Jagdw. **24**, 99 (1892).

[8]) Vgl. V. Hensen, Landw. Jahrb. **11**, 696 (1882).

[9]) P. Vageler, Fühlings landw. Ztg. **59**, 880 (1910); K. Sapper, Habilitationsschrift (Leipzig 1900) 25; C. Keller, Humusbildg. u. d. Einfl. tier. Tätigk. (Leipzig 1887); S. Passarge, Kalahari, Textband (Berlin 1904) 498.

durch Ameisen und Termiten. Nach K. Glinka spielen für die Bildung des Gefüges der Grauerden in den Halbwüsten zusammen mit sehr zahlreichen, bodenbewohnenden Insekten und den Regenwürmern auch Eidechsen, Schlangen, Schildkröten eine Rolle.[1]) Auch Heuschreckenschwärme dürften als Zerstörer der Pflanzendecke Beachtung verdienen, zumal ihnen häufig eine erhöhte Einwirkung des Windes auf den Boden folgen wird.

c) Warmblüter.

Weiterhin bietet auch die höhere Fauna, Maus,[2]) Hamster, Kaninchen und manch anderer höhlenbewohnender Warmblüter gelegentlich Ursache für Lockerung und Bewegung des Bodens, den Maulwurf nicht zu vergessen.[3])

Auch der verwehenden und aufwirbelnden Wirkung des Windes arbeiten diese Tiere unter Umständen vor, indem sie den Pflanzenüberzug, der den Boden schützt, stellenweise beseitigen und die lockere Erde der bewegten Luft preisgeben. Im Gebirge wirken so auch die weidenden großen Haussäugetiere und das Wild, dem Ausblasen durch Wind, wie auch dem Fortwaschen durch Regen Vorschub leistend.[4]) Auch in der Ebene können auf sehr leichtem Sand Pferde und Schafe ähnlich die Grasnarbe zerstören, auf begrenztem Raum unser Federvieh ebenfalls.

Wie bei den Gliedertieren und ähnlichen, so tritt auch bei der höheren Tierwelt in wärmeren, nur spärlich vom Menschen bewohnten Ländern wieder die bodenlockernde Tätigkeit stärker hervor, durch die in vieler Hinsicht günstigeren Lebensbedingungen verursacht. Besonders die Ausblasung der „von Tausenden und Abertausenden von Hufen jahraus jahrein durchwühlten Steppe" ist hier zu erwähnen, zumal man „an vielen Stellen dort vergeblich nach auch nur einem Fußbreit Boden suchen wird, der keine Wildfährte trägt".[5]) Nach S. Passarge[6]) sind z. B. die Schlammablagerungen im Okavangobecken wesentlich durch

[1]) K. Glinka, Typen d. Bodenbildg. (Berlin 1914) 141.

[2]) Wie ich selbst beobachten konnte, sieht die von der Maus aus feuchtem Lehmboden herausgescharrte Erde oft täuschend den Regenwurmausscheidungen gleich und ist ähnlich, nur wohl fester, gekrümelt.

[3]) Vgl. dazu auch E. Ramann, Bodenkunde, 3. Aufl. (Berlin 1911) 484, und Intern. Mitteil. f. Bodenk. **1**, Sonderdruck (1911); P. Kossowitsch, Schwarzerde (Berlin 1912) 48.

[4]) R. A. Jugoviz, Wald und Weide in den Alpen **1**, 30—31 (Wien 1908)

[5]) P. Vageler, Fühlings landw. Ztg. **59**, 880 (1910).

[6]) S. Passarge, Kalahari, Textband (Berlin 1904) 496 ff.

derartige Einwirkung des Tierlebens und des Windes in Sandfelder umgewandelt worden bzw. noch in Umwandlung begriffen, was P. Vageler im allgemeinen bestätigt.[1]) Hierbei wirken die den Maulwurf in seiner Tätigkeit noch weit übertreffenden Erdeichhörnchen und zugleich die Herden von Antilopen und Zebras und anderen großen Säugetieren zusammen. Ähnlich betätigen sich sogar die in Scharen vorkommenden und den Boden aufscharrenden Perlhühner, deren „Anwesenheit man auf viele hundert Meter an den großen, stehenden Staubwolken erkennt, die sie aufwirbeln".[2]) S. Passarge hat für diese Vorgänge, denen seiner Erkenntnis nach die Kalahari ganz wesentlich ihre heutige Beschaffenheit verdankt, den Namen „zoogene Windsaigerung" geprägt, der besser als längere Ausführungen dartut, wie sehr wesentlich in solchen Fällen Tiere auf die Verarmung des Bodens an feinsten Teilchen, und im Zusammenhang damit auf Ablagerung derselben an anderen Orten, nach Art der Lößbildung, hinwirken. Schon F. Freiherr von Richthofen[3]) hat ja weiter für China beobachten können, wie der Tritt der Saumtiere dort ähnlich auf Windtransport feiner Bodenteile hinwirkt. Natürlich wird auch unter Umständen die Wirkung reichlichen Regenfalles durch die Hufe der Tiere verstärkt werden können.

Mit dieser Umlagerung durch den Wind und die Tiere geht wahrscheinlich auch das Eintreten einer besonders festen Lagerung des Sandes zusammen. Man darf wohl mit Recht annehmen, daß Windbewegung und Stampfen der Tiere den Sand erst dann einigermaßen zur Ruhe kommen lassen, wenn er die engstmögliche Lagerung angenommen hat.[4])

Es wäre vielleicht nicht erforderlich gewesen, auf diese, bislang noch von unsern Forschern auf dem Gebiete der Bodenkunde kaum beachteten Erfahrungen aus anderen Ländern etwas eingehender hinzuweisen, wenn sie nicht meiner Ansicht nach innerhalb gewisser Grenzen wohl auch für die Bildung der Sandablagerung aus den großen Strömen der zu Ende gehenden Eiszeit und die Entstehung unseres Löß angewendet werden müßten, und so auch für unsere deutsche Bodenkunde recht bedeutungsvoll wären.

d) Der Regenwurm.

Die Einwirkung der Tiere auf die Bodenkolloide würde aber nicht ausreichend berücksichtigt sein, wenn nicht noch ein Tier Besprechung

---

[1]) P. Vageler, a. a. O. — [2]) S. Passarge, a. a. O.
[3]) Vgl. oben a. a. O. — [4]) S. Passarge, a. a. O. 500.

fände, dem man früher eine ganz außerordentliche Einwirkung auf den Boden zuerkennen wollte, der Regenwurm.[1])

Ch. Darwin, wollte in einem besonderen Buch[2]) die Regenwürmer gewissermaßen als die eigentlichen Bildner unserer Ackerkrume hinstellen. Nach mannigfaltigen Untersuchungen anderer Forscher mußte diese Ansicht zwar als unbedingt zu weitgehend zurückgewiesen werden.[3]) Doch ist von Ch. Darwins Beobachtungen noch manches übrig geblieben, was hier Bedeutung besitzen wird. Die Röhren, welche die Tiere durch die Erde hindurch aushöhlen, tragen zweifellos zu einer gewissen Lockerung des Bodens bei. Gelingt es den Regenwürmern nicht, festgelagerte Erde zur Seite zu drücken und so einzudringen, so vermögen sie durch Verschlucken von Boden, der dann später am anderen Ende des Tieres wieder ausgeworfen wird, sich einzugraben.[4]) Häufig wird die Lockerung durch die Würmer sich nur auf die oberen Bodenschichten[5]) beschränken,[6]) wobei zu beachten ist, daß diese Röhren innen zumeist mit einer feinen Schicht von durch die Würmer ausgeleerter Erde bekleidet sind. Da diese ausgeworfene Erde mit den Absonderungen der Darmwände durch und durch vermischt ist, so erscheint sie klebrig, um dann nach dem Austrocknen zu erhärten. Hier sehen wir die Wirkung des kolloiden Schleimes der Tiere. So müssen denn auch durch ihn die alten Wurmröhren mehr Dauerhaftigkeit erhalten,[7]) wenn auch zuletzt ihr Schicksal das Zu-

[1]) Vgl. auch oben 53.

[2]) Ch. Darwin, Bildung d. Ackererde d. Tätigk. d. Würmer, übers. V. Carus (Stuttgart 1882); Ch. Darwin, Trans. Geol. Soc. Lond. **5**, 505 (1837/38). Auch P. Kossowitsch mißt noch für die Bildung der Krümel in der Schwarzerde den Regenwürmern große Wichtigkeit bei, vgl. P. Kossowitsch, Schwarzerde (Berlin 1912) 48.

[3]) Z. B. E. Ramann, Forsch. Geb. Agrikulturphysik **11**, 320 (1888); derselbe, ebendort 325. F. Enckhausen, Journ. Landw. **30**, 371 (1882). P. E. Müller, Stud. natürl. Humusform. (1887) 239, 61. C. von Seelhorst, Journ. Landw. **50**, 99 (1902).

[4]) Ch. Darwin, Bildung d. Ackererde (Stuttgart 1882) 56 ff.

[5]) H. Thiel schrieb aber gerade für die tieferen Schichten der Durchdringung des Bodens durch die Regenwurmröhren größere Bedeutung zu; Inauguraldissertation (Bonn 1865) 15 u. 31. Auch V. Hensen rechnet mit einem Tiefergehen der Tiere, Landw. Jahrb. **11**, 666, 687 (1882), ebenso W. Hofmeister, Wiegmanns Arch. **9** (1), 187 (1843), und O. Pitsch, Theorie d. Bodenbearb. (Dresden 1884) 80. Vgl. weiter A. Mitscherlich, Bodenkunde, 2. Aufl. (Berlin 1913) 97.

[6]) Ch. Darwin, a. a. O. 62.

[7]) Mehmed Djemil, Dissertation (Halle 1896).

sammenfallen ist. Immerhin wird so die Lockerung gefördert,[1]) auch die Wasserabfuhr und damit das Austrocknen des Bodens.[2]) In gleicher Weise wirkt die von den Würmern auf der Bodenoberfläche abgesonderte Erde.[3]) Hierbei vermag übrigens auch noch der Umstand, auf den Ch. Darwin hinwies, wichtig zu sein, daß nämlich diese Erde, soweit sie von unter Rasenflächen lebenden Würmern oben abgesetzt wird, des Schutzes der Grasnarbe entbehrt und somit auf abschüssigem Gelände leicht vom Regen fortgewaschen wird.[4]) Wenn man endlich noch die Tatsache heranzieht, daß in der Regel von Regenwürmern stark bewohntes Land auch den Maulwurf beherbergt und ihm Gelegenheit zu seinen erheblichen Wühlarbeiten gibt, so mag genug über die Einwirkung der Tiere auf die Kolloide des Erdbodens gesagt sein, soweit dabei der Einfluß der Haustiere und des Menschen selbst im wesentlichen unbeachtet bleibt.

Damit wäre überhaupt der ganze Abschnitt, der uns die Bodenkolloide unter dem Einfluß der verschiedenen Naturkräfte zeigen soll, beendet, wenn auch gewiß noch so manche Einzelheit erwähnt werden könnte.

[1]) V. Hensen, a. a. O. 689; ferner E. Wollny, Forsch. Geb. Agrikulturphysik **13**, 391 (1890); Mehmed Djemil, Dissertation (Halle 1896); E. Henry, Journ. d'agricult. prat. (1900) 778; P. E. Müller, a. a. O. 173, 235, 275. M. Oettli, Jahrb. St. Gall. Naturw. Ges. für 1903, 213, (Sankt Gallen 1904).

[2]) J. B. Lawes, J. H. Gilbert und R. Warington, Journ. Roy. Agricult. Soc. England **17**, Teil 1 u. 2; zit. nach Forsch. Geb. Agrikulturphysik **5**, 235 (1882). Weiter Goethe in Geisenheim, zit. nach C. Luedecke, Kulturtechn. **12**, 129 (1909).

[3]) Nämlich auf eine größere Lockerung der Bodenschichten hin. Ob man übrigens die Regenwurmauswurfsstoffe ohne weiteres als Ursachen einer guten Krümelbildung ansehen darf, vgl. z. B. M. Fleischer, Ch. A. Voglers Kulturtechn. **1** (1), 134, Anm. 2 (1909), sei dahingestellt. Wenigstens will mir scheinen, als sei ihre klebrige Beschaffenheit in frischem, ihre Festigkeit in trockenem Zustande dafür nicht sehr geeignet. Erst nach weiterer Umwandlung werden sie Krümelstruktur aufweisen.

[4]) Ch. Darwin, a. a. O. 147—148 ff.

Einfluß der Kulturkräfte.

A. Grundverbesserungen.[1]

1. Brennen des Bodens.

a) Allgemeines und Geschichte.

Bekanntlich hat man früher nicht nur Moorboden, sondern auch schwere Tonböden gebrannt, um sie fruchtbarer zu machen.

Nun kann ja unzweifelhaft durch solch Brennen der Boden in mannigfacher Weise beeinflußt werden, und es ist auch zu bedenken, daß in den früheren Zeiten des Mangels an künstlichem Dünger und der verhältnismäßig geringen Ernten auch schon eine bescheidene Ernteerhöhung viel bedeutete.

Immerhin aber kann man doch den Erfolg des Brennens nicht nur mit der Vernichtung tierischer wie pflanzlicher Schmarotzer und Schädlinge erklären. Sonst wäre nicht einzusehen, weshalb man diese Maßregel nicht auch auf den oft so außerordentlich unter Unkraut, Fritfliege u. dgl. leidenden Sandboden ausgedehnt hat. Diese leichten Böden wurden indes stets besonders vom Brennen ausgeschlossen.[2] Man muß zum mindesten daher auch andere Ursachen als für die günstigen Erfolge des Brennens maßgebend anerkennen. Da ist es nun vielleicht als ein Fingerzeig anzusehen, daß sowohl die Moor- wie die Ton- und schweren Lehmböden, für die das Brennen besonders empfohlen und auch angewendet worden ist, als kolloidreich zu bezeichnen sind. Und weiter sei auf die bereits erwähnten[3] Wirkungen des Austrocknens auf Moor- und Marschböden hingewiesen. Vermochte bereits dies die Löslichkeit von Pflanzennährstoffen merkbar zu erhöhen, so wird man wohl nicht fehlgehen, für mäßiges Brennen ähnliche und wohl noch stärkere Erfolge zu erwarten. Daß zumal bei Tonböden ein zu starkes Brennen vermieden wurde und man daher bei guter Ausführung sich wohl an die Wirkungen eines recht kräftigen Austrocknens in mancher Beziehung annähern mußte, erhellt aus der älteren Literatur.[4] Wie nun bereits für den Einfluß des Austrocknens auf den Boden Kolloidwirkungen als bedeutungsvoll angesehen werden konnten,

[1]) An Stelle von „Meliorationen".

[2]) C. Struckmann, Journ. Landw. **3** n. F. 61 (1859). H. Davy, Elemente d. Agrikulturchemie, übers. A. Thaer (Berlin 1814) 404; wenn F. Arends, Rasenbrennen u. Moorbrennen (Hannover 1826) 11, das Brennen auch auf Sandboden angewandt wissen will, so ist doch wohl nur Heideboden gemeint, bei dem es sich um Beseitigung des Heidekrautes und um Verbesserung des sauren Heidehumus handelte. A. a. O. 13. Weiter E. Heiden, Düngerlehre, 2. Aufl. **2**, 931 (Hannover 1887).

[3]) Oben 224 u. f. [4]) E. Heiden, Düngerlehre, 2. Aufl. (Hannover 1887) **2**, 931.

so wird dies demnach gewiß auch für das Brennen des Bodens gelten. — Man darf wohl annehmen, daß bereits die Römer Ackerboden zur Erhöhung seiner Fruchtbarkeit gebrannt haben.[1]) Darauf deuten Angaben von P. Vergilius (Georgica **1** (5), 84 ff.: „saepe etiam steriles incendere profuit agros"). Auch bei M. P. Cato kann man diesbezügliche Hinweise finden. Die Frage, ob es sich dabei nur um ein Abbrennen der Stoppeln gehandelt habe[2]) oder um wirkliches Bodenbrennen, möchte ich hier nicht entscheiden. Ohne wahrscheinlich jemals völlig unbekannt geworden zu sein, denn es kam notwendigerweise immer wieder bei Waldrodungen in Anwendung,[3]) ist dann das Verfahren doch wohl mehr und mehr in Vergessenheit geraten. Nach A. D. Thaers Angaben ist es in manchen Gegenden Frankreichs, auch Englands, von alters her üblich gewesen.[4]) Es dürfte in Irland vom Moorbrennen seinen Ursprung genommen haben.[5]) Und schon vor 1730 soll man in Irland, dann auch Schottland Ton zur Verwendung als Düngemittel gebrannt haben.[6]) In der Literatur taucht das Bodenbrennen in Frankreich, wohin es vielleicht aus den Niederlanden gelangt sein mag, ziemlich lange vor der großen Revolution auf.[7]) Hier, in den Niederlanden, so läßt sich annähernd feststellen, muß es vermutlich nicht vor dem letzten Viertel des 17. Jahrhunderts in den Moorgegenden aufgekommen sein; denn 1660 wird in einer Beschreibung von Drenthe[8]) nichts davon erwähnt, 1707—1716 aber wird das Moorbrennen in Ostfriesland durch einen Groninger Kolonisten[9]) eingeführt. Vom Moorbrennen ist man wahrscheinlich in Groningen selbst bald auch zum Brennen schweren Marschbodens übergegangen,[10]) denn Ende des 18. oder Anfang des 19. Jahrhunderts findet sich bereits ein kleines Werkchen[11]) über das Rasenbrennen, d. h. das Brennen von

---

[1]) E. Heiden, a. a. O. 931.

[2]) F. Arends, a. a. O. 3, dessen Meinung sich der Wortlaut bei Vergil ziemlich anzupassen scheint.

[3]) Vgl. die Literatur über Waldfeldbau u. dgl., z. B. Th. Frhr. v. d. Goltz, Betriebslehre (Berlin 1886) 383.

[4]) A. D. Thaer, Engl. Landwirtsch. (Hannover 1804) **3**, 598.

[5]) Vgl. weiter unten.

[6]) A. Beatson, Neues Ackerbausystem, übers. G. H. Haumann (Ilmenau 1828) 31 u. 78.

[7]) L. F. Marquis de Turbilly, Prakt. Unterr. z. Aufreißen od. Brechen d. unangeb. Feld. (Altona 1762.)

[8]) Durch Prediger Piccard zu Coeverden.

[9]) Vgl. F. Arends, Rasenbrennen u. Moorbrennen (Hannover 1826) 99, wo weitere Angaben.

[10]) Nach F. Arends soll diese Erfindung 1799 gemacht sein, a. a. O. 4 ff.

[11]) Verslag wegens het Reppen door J. Hora Siccama, Heer van Slochtern.

Mineralboden. Und kurze Zeit darauf erscheint ein Buch über beide Arten des Bodenbrennens von einem ostfriesischen Landmann.[1] Wir dürfen wohl annehmen, daß die Kunde von den Erfolgen des Bodenbrennens in den Niederlanden ebenso wie nach Ostfriesland, so auch nach England gewandert ist[2]) und die Verbreitung des Verfahrens förderte, das dort zu annähernd gleicher Zeit wie für die deutsche Nordseeküste empfohlen wird.[3]) Andrerseits scheint auch von dem ja ebenso wie die Niederlande viel Moore besitzenden Irland aus sich die Brandkultur in England verbreitet zu haben.[4]) Hier wurde das Verfahren dann zu einer solchen Vervollkommnung gebracht, daß man von Deutschland her es an Ort und Stelle dort studierte.[5]) Aber schon vorher war im ersten Drittel des 19. Jahrhunderts in Westfalen und Rheinpreußen das Rasenbrennen weitgehend im Gebrauch,[6]) ebenso noch in den sechziger Jahren in Ostpreußen.[7]) Heutzutage ist das Brennen von Mineralboden mehr und mehr im Verschwinden begriffen[8]), und annähernd das gleiche kann man auch vom Moorbrennen sagen. Immerhin wird es nützlich sein, dem hier in Betracht kommenden Zusammenhange kolloidchemischer Natur nachzugehen.

b) Aufschließung von Pflanzennährstoffen.

Daß durch gelindes Brennen die kolloiden Bestandteile des Bodens weitgehende Veränderungen erleiden müssen, liegt nahe. Die organischen Kolloide werden mehr oder weniger zerstört, und damit fallen auch die Schutzwirkungen fort. Auch die anorganischen dürften zumeist so weitgehend beeinflußt werden, daß sie ihre Kolloidbeschaffenheit größtenteils verlieren. Änderte doch nach J. M. van Bemmelen das durch Zersetzung von Metasilikat erhaltene Kieselsäurekolloid schon bei 100° stark sein Adsorptionsvermögen,[9]) während E. Jordis feststellen konnte, daß Kiesel-

[1]) F. Arends, Rasenbrennen u. Moorbrennen (Hannover 1826).

[2]) Wodurch nicht bestritten werden soll, daß die Brandkultur auch schon vorher in England bekannt und viel benutzt war. Vgl. A. D. Thaer, Engl. Landw. **3**, 597 (1804); C. Struckmann, Journ. Landw., n. F., **3**, 58 (1859).

[3]) Von A. Beatson (1828), Neues Ackerbausystem, 27, 74—100. Übers. G. H. Haumann (Ilmenau 1828).

[4]) E. Cartwright, Transact. Societ. Encourag. Arts **26**, 1826; Dinglers Polytechn. Journ. **23**, 87 (1827).

[5]) C. Struckmann, Journ. Landw. **4**, 317 (1856); **5**, 1 u. 59 (1857).

[6]) J. N. von Schwerz, Landwirtsch. in Westfalen (1837) **1**, 161.

[7]) W. Schumacher, Physik in Anwend. auf Agrik. u. Pflanzenphys. **1**, 472 (1864).

[8]) A. v. Rosenberg-Lipinsky, prakt. Ackerbau **2**, 441 (1890), teilt mit, daß das Tonbrennverfahren nach Beatson, obwohl der günstige Einfluß außer Zweifel stand, der Kosten halber nirgends sonderlichen Eingang fand.

[9]) J. M. van Bemmelen, Recueil trav. chim. Pays-Bas **7**, 69 ff. (1888).

säuregele in der Kälte keine Reaktion auf in ihnen noch enthaltenes Chlorion bzw. Natriumion zeigten, nach Erwärmen auf Siedehitze aber bedeutende Mengen von beiden abgaben.[1]) Daß Erhitzen auf höhere Grade noch stärkere Einwirkungen äußern muß, ist noch dazu durch J. M. van Bemmelens Untersuchungen bewiesen.[2])

Und wie hier für das Kieselsäurekolloid, das ja auch im Boden vorkommen kann, derartige Wirkungen der Erhitzung feststehen, so ist Ähnliches für die anderen mineralischen Bodenkolloide anzunehmen, besonders auch für den Kolloidton. Es werden danach Pflanzennährstoffe, die etwa von den Bodenkolloiden festgehalten wurden, durch das Brennen in Freiheit gesetzt.[3]) Daß solche Bindungen vorkommen, machen Untersuchungen von M. Stahl-Schroeder,[4]) von H. Petit,[5]) J. König[6]) u. a. zum mindesten recht wahrscheinlich.[7]) Es wäre demnach als Folge des Brennens von Erdboden zunächst ein Löslichwerden von Pflanzennährstoffen anzunehmen. Dazu stimmt auch die Erfahrung, daß gebrannter Boden zwar zunächst ganz erheblich höhere Ernten zu geben vermag, aber durch zu häufig wiederholtes Brennen aufs äußerste erschöpft wird,[8]) so daß die Folgen sehr nachteilig sind.[9])

Wie stark der Moorboden durch das Brennen aufgeschlossen wird, zumal für Phosphorsäure,[10]) zeigen die Untersuchungen von M. Fleischer und C. L. Wiklund,[11]) bestätigt von Br. Tacke[12]) wie Br. Tacke und H. Immendorff,[13]) und die bei den Feldversuchen der Moor-Versuchsstation durch Brennen erzielten Erntevermehrungen,[14]) wozu noch zu beachten ist, daß ein Teil der löslich werdenden Stoffe aus dem gebrannten Moor in die Tiefe gewaschen wurde.[15]) Eine ähnliche, wenn auch

[1]) E. Jordis, Koll.-Zeitschr. **1**, 97 (1906).

[2]) J. M. van Bemmelen, Absorption (Dresden 1910) 256 ff.

[3]) Dabei soll natürlich nicht in Abrede gestellt werden, daß durch das Brennen des Tons auch chemische Umsetzungen an kristalloiden Bodenteilen eintreten können, welche Pflanzennährstoffe löslich machen.

[4]) M. Stahl-Schroeder, Journ. Landw. **40**, 218—219 (1892).

[5]) H. Petit, Journ. Landw. **57**, 253, 261 (1909).

[6]) J. König, Landw. Versuchsstat. **61**, 389 ff. (1905).

[7]) Auch oben ist bereits Literatur dafür angegeben worden.

[8]) M. Fleischer, Landw. Jahrb. **20**, 466 (1891).

[9]) F. Arends, a. a. O. 74.

[10]) M. Fleischer und G. Vogt, B. Tacke usw., Landw. Jahrb. **20**, 740 ff. (1891).

[11]) M. Fleischer und C. L. Wiklund, Landw. Jahrb. **20**, 909 (1891); ebenda auch 457, 724 ff., besonders 739.

[12]) B. Tacke, Landw. Jahrb. **27**, Ergbd. **4**, 35 (1898).

[13]) B. Tacke und H. Immendorff, ebendort 303 ff.

[14]) u. a. vgl. man a. a. O. 919. [15]) Ebendort 423.

geringere Wirkung ist für den Mineralboden anzunehmen. So gibt C. Struckmann an,[1]) daß in Tonboden gefunden wurden:

	vor schwachem Brennen	nach schwachem Brennen
Lösliches Kali	0,779%	1,530%
Lösliches Natron	Spuren	0,230%
Lösliche Phosphorsäure . .	Spuren	0,043%

Dabei wurde ein Teil des Kalis durch das Brennen sogar wasserlöslich. Weitere Untersuchungen C. Struckmanns ergaben, daß die Löslichkeit des Kalis von Tonboden in Wasser und sehr verdünnter Salzsäure durch das Brennen bzw. Rösten nahezu verdoppelt wurde.[2])

A. Voelcker[3]) fand vor dem Brennen eines Tonbodens in Säure lösliches Kali 0,35%, nachher, nach mäßiger Erhitzung, 0,77%. Ebenso bei zwei anderen Böden:

	vorher	nachher
Lösliches Kali	0,52 u. 0,38%	1,08 u. 1,61%
Lösliche Phosphorsäure . .	Spuren	0,71 u. 1,84%

Freilich kam auch ein Fall zur Beobachtung, in dem die Löslichkeit der Phosphorsäure durch Brennen abnahm, aber die Löslichkeit von Kali und Natron stieg auch in diesem Falle merkbar. Und Zeugnisse von deutschen und englischen Landwirten erwähnen die ganz namhaften Ernteerhöhungen[4]) durch Brennen schweren Bodens.[5]) Besonders A. D. Thaer bringt diesbezügliche Angaben aus England,[6]) J. N. v. Schwerz aus Deutschland,[7]) ebenso C. Sprengel,[8]) bei dem besonders das Nähere über die verschiedenen Verfahren verglichen sei.

---

[1]) C. Struckmann, Journ. Landw. **4**, 322 (1856).

[2]) C. Struckmann, Journ. Landw. **5**, 11 (1857).

[3]) A. Voelcker, Journ. Roy Agricult. Soc. England **12**, 496; **18**, 342. Auch Journ. Landw. **1**, 105 (1853); weiter Journ. Agric. Transact. Highland Agricult. Soc. Scotland, März (1851); Mortons Encyclop. Agricult. **2**, 559 (1856).

[4]) Von den schon erwähnten F. Arends und C. Struckmann sowie A. Völker abgesehen: Pusey, Journ. Roy. Agricult. Soc. **9**, 442; E. Cartwright, zit. nach Ed. Hartstein, engl. u. schott. Düngerwesen (Bonn 1853) 177; A. Beatson, a. a. O. 75, 96.

[5]) E. Cartwright, a. a. O. kalter, nasser, zäher Ton; A. Beatson, a. a. O. nasse, schwere Ländereien, zäher, bindender Boden.

[6]) A. D. Thaer, Engl. Landwirtsch. (1804) **3**, 606.

[7]) J. N. von Schwerz, Landwirtschaft in Westfalen und Rheinpreußen **1**, 161, und **2**, 152—153 (1837).

[8]) C. Sprengel, Urbarmachungen und Grundverbesserungen (Leipzig 1838) 395. Auch 181.

c) Beseitigung der sauren Reaktion.

Der weiter hervorgehobene Vorteil des Brennens, daß der Boden entsäuert wird,[1]) hängt gleichfalls mit dem Verhalten der von uns auch unter die Bodenkolloide gerechneten Humusstoffe zusammen, wenn die Säureeigenschaften auch freilich nach neueren Untersuchungen nicht durch Besonderheiten des kolloiden Zustandes erklärt werden können. Ihre ungünstige Wirkung auf das Pflanzenwachstum schwindet nach dem Brennen natürlich um so mehr, als die entstehende Asche eher basisch zu wirken vermag.

d) Änderungen der physikalischen Beschaffenheit.

Besonders wichtig ist aber noch die Änderung des physikalischen Zustands des Bodens, die durch das Brennen hervorgerufen wird, und gerade auf Mineralböden, zumal solchen schwerer und schwerster Beschaffenheit, stark wirkt. Der Boden erscheint milder, mürbe, er zerfällt und läßt sich auf eine Reihe von Jahren hin besser bearbeiten.[2]) C. Struckmann stellte fest, daß nach richtiger Ausführung des Brennens[3]) der vorher mit Wasser zähe, knetbare Beschaffenheit aufweisende Ton zu einem feinen Pulver zerfiel, das mit Wasser keinen bildsamen Teig mehr zu ergeben vermochte.[4]) Auch führt er praktische Erfolge des Brennens bei der Bereitung des Bodens zur Saat an.[5]) Wir gehen wohl nicht irre, wenn wir als Erklärung annehmen, daß durch das Brennen der Kolloidton umgewandelt und seiner klebenden, kolloiden Eigenschaften entkleidet worden ist, so daß nun nur noch die Sandbestandteile des Tons wesentlich in Erscheinung treten.[6]) Daß in dem ja bekanntlich ein Gemenge von Sanden feiner und feinster Beschaffenheit und von Kolloidton darstellenden gewöhnlichen Ton durch Erhitzen weitgehende Veränderungen vor sich gehen, auch wenn es nicht zum Sintern

[1]) Vgl. z. B. A. D. Thaer, Englische Landwirtschaft (1804) 3, 607—608.

[2]) F. Arends, a. a. O. 11, 74. A. Beatson, a. a. O. 31, spricht von Wirkungen über einen Zeitraum von acht Jahren und länger. Vgl. auch C. Struckmann, Journ. Landw., neue Folge, 3, 137 (1859).

[3]) Wobei besonders der Boden auch nicht zu stark erhitzt wird. Vgl. C. Sprengel, a. a. O. 411.

[4]) C. Struckmann, Journ. Landw., neue Folge, 3, 61 (1859).

[5]) C. Struckmann, Journ. Landw. 5, 59 u. 61 (1857); ebenda bes. 73—74.

[6]) Schon H. Davy, Elem. d. Agrikulturchemie, übers. A. D. Thaer (Berlin 1814) 399, weist darauf hin, daß schwere Böden durch das Brennen „einem Zustand genähert werden, welcher dem Sand mehr analog ist"

und der Bildung steinähnlicher Masse kommt,[1]) erhellt aus den Untersuchungen von H. Le Chatelier[2]) und G. Keppeler.[3]) Der erste stellte zwei Stufen der Entwässerung[4]) durch höhere Wärmegrade für die von ihm untersuchten Tone fest, bei 150—200° und bei über 400—700°. Es ist nach H. Le Chateliers Angaben möglich, daß die erste, weniger auffällige Wasserabgabe auf weitgehende Oberflächenverminderung des Kolloidtons zurückzuführen ist, die zweite dagegen auf eine grundlegende Veränderung seiner ganzen chemischen Beschaffenheit, die dann wohl die Kolloideigenschaften völlig beseitigt.[5]) Denn der gebrannte Boden hat z. B. nach H. Davy[6]) auch die Fähigkeit, Wasser zurückzuhalten, ganz erheblich verloren, ebenso seine Zähigkeit. Nach A. Beatson[7]) muß „der Ton in einem noch etwas feuchten Zustande sein. Bringt man ihn zu trocken in den Ofen, so wird er durch das Brennen hart wie Stein. Bei einer zweckmäßigen Feuchtheit aber wird er gleichsam durchgekocht und verwandelt sich in eine lockere Masse, welche sich, wenn man sie der freien Luft aussetzt, durch ihre Einwirkung von selbst pülvert". Ähnliche Feststellungen machte in neuerer Zeit W. Bagger, bei dem die Bindigkeit von der Bezeichnung „außerordentlich groß" nach dem Brennen des Tons auf Null zurückging, und die Durchlässigkeit für Wasser sich auf das Tausendfache vergrößerte.[8]) Auch die Bildsamkeit war völlig verloren. Ganz besonders tritt wohl das Brennen in seiner Zerstörung der Kolloideigenschaften schweren Bodens hervor,[9]) wenn wir davon hören, daß der „Knick", höchst unfruchtbar, damals noch zumeist sauer, oft steinhart,[10]) dadurch wie verwandelt wird und gute Ernten bringt;[11]) haben wir doch erfahren, daß die ungünstigen Eigenschaften des Knicks

[1]) Dies ist natürlich für den Landwirt durchaus unerwünscht. Vgl. C. Struckmann, Journ. Landw. **5**, 15 (1857); auch A. Voelker, a. a. O.

[2]) H. Le Chatelier, Bull. soc. franç. Min. **10**, 204 (1887).

[3]) G. Keppeler, Sprechsaal **46**, 445, (1913).

[4]) Der Wasserverlust der Tone, überhaupt des Erdbodens, beim Glühen ist auch sonst im allgemeinen bekannt. Vgl. z. B. H. Mehring, Journ. Landw. **53**, 229, 235 (1905); A. Mayer, ebendort **54**, 50 (1906).

[5]) Die Tone verlieren ihre Bildsamkeit, wenn sie auf etwa 590—620° erhitzt werden. Vgl. z. B. P. Rohland, Abeggs Handb. anorgan. Chem. **3**, Abt. 1, 103 (Leipzig 1906); H. Le Chatelier, Van Bemmelen Gedenkboek, 169 (Helder 1910). Dies war schon W. Schumacher, Physik in Anwend. a. Agrikult. Pflanzenphys. **1**, 193 (1864), bekannt, der als Temperatur 500° ansetzte.

[6]) H. Davy, a. a. O. 399.

[7]) A. Beatson, a. a. O. 105.

[8]) W. Bagger, Deutsche Landw. Presse **34**, 695 (1907).

[9]) Vgl. unten 461. — [10]) Vgl. oben 407. — [11]) F. Arends, a. a. O. 13.

nicht zum wenigsten auf seinen Reichtum an Bodenkolloiden mineralischer Art zurückzuführen sind.[1] Für die Wirkung des Bodenbrennens kommt dann noch in Betracht, daß der gebrannte, zu feinem Pulver zerfallene Ton[2] nun auf den vom Brande nicht berührten Ton gewissermaßen als Magerungsmittel wirkt, wie man in der Tonindustrie sagt, wenn man die übermäßige Bildsamkeit, die mit sehr starkem Quellen und Schwinden verbunden ist, bei Ton zu vermindern sucht, und hierzu zerkleinerte Reste gebrannter Tonwaren zufügt. Ebenso wie zugefügter, nicht zu feiner Sand schon der übermäßigen Bindigkeit von Ton Eintrag tut, so in noch erhöhtem Maße das gebrannte Tonpulver. Wahrscheinlich spielt dabei die wohl noch verhältnismäßig große Oberfläche des Tonpulvers eine Rolle, oder, was dasselbe ist, seine sehr große Feinheit. So wird es — bei genügender Menge — von dem nach dem Brennen noch vorhandenen, die Bindigkeit und Bildsamkeit bedingenden Kolloidton so viel zur eigenen Umhüllung in Anspruch nehmen, daß der Ton in seiner Gesamtheit viel von seinen bisherigen Eigenschaften einbüßt.[3] Auch an einen Ausflockungsvorgang infolge von Adsorption ließe sich vielleicht denken, durch den der Kolloidton in seinen Eigenschaften eine Abschwächung erlitte. Man erinnere sich an die entsprechende Wirkung, die Humus wie Eisenoxyd auf Ton auszuüben vermag, und die bereits oben behandelt wurde, ebenso daran, daß Humuslösungen beim Gefrieren leichter Ausflockungen ergeben, wenn sie mit Sand gemischt sind.[4] A. Beatson teilt noch mit, „wo nur gebrannter Ton auf kaltem, nassem, zähem Boden angewendet wurde, machte er denselben trocken und zerreiblich, so daß er beinahe zu jeder Jahreszeit bearbeitet werden konnte. Ich habe ein solches Grundstück vor sieben bis acht Jahren mit gebranntem Ton zugerichtet, und man sieht noch heutzutage die gute Wirkung davon, und wird sie noch nach Jahren sehen".[5]

Wenn nun auch von einem Brennen des Tons bei dem hier besprochenen Verfahren nicht für seine ganze Menge die Rede sein kann, da viele Bodenteile dazu nicht mehr stark genug erhitzt werden, so wird doch auch für sie eine allerdings anders geartete Beeinflussung eintreten können. Manche Erdschollen und auch tiefer gelegene Schichten des Bodens werden wenig-

[1]) Oben 410/11, und 418/9.

[2]) Um zu erreichen, daß der Ton nach dem Brennen gut zerfiel, mußte der in Öfen auf dem Felde oder sonst zu brennende Ton noch einigermaßen feucht sein, vgl. Journ. Landw. **5**, 14, 16 (1857), und an anderen Orten.

[3]) Vgl. auch oben 322.

[4]) A. Mayer, Landw. Versuchsstat. **58**, 186 (1903).

[5]) A. Beatson, a. a. O. 31.

stens bis auf die Siedewärme des Wassers erhitzt werden, oder auf ähnliche Temperaturen. Nun ist es aber längst bekannt, daß die Siedehitze auf Ton häufig einen erheblichen Einfluß auszuüben vermag,[1]) der sich sowohl physikalisch wie chemisch kennzeichnet. Auch die bei Ausführung des Moorbrennens nicht verbrannten, sondern nur erhitzten Torfschichten weisen Änderungen in der wasserfassenden Kraft auf, so daß der Luft eher Eintritt gestattet wird und der Boden überhaupt tätiger wird, zugleich auch wohl etwas zusammensinkt.[2]) Es sei hierzu noch darauf hingewiesen, daß B. Tacke und H. Süchting[3]) durch Austrocknen von Moostorf bei etwas über 100° gelegenen Temperaturen ein körniges Produkt erhielten, das sich aufgerührt wie feiner Sand zu Boden setzte, und mit Wasser selbst nach längerer Zeit nicht entfernt seine alte voluminöse Beschaffenheit wieder erhielt.[4]) Daß hierbei eine Oberflächenverkleinerung des kolloiden Torfs in Betracht kam, erweisen andere Versuche der gleichen Forscher. Denn die vorher starke Adsorption von kolloidem Eisenhydroxyd sank nach dem Austrocknen auf Null.[5])

Hieran schließt sich wohl auch die ältere Beobachtung von B. Tacke und H. Immendorff, daß durch Erhitzen von Moorboden auf 100° und höher ganz erhebliche Mengen von Phosphorsäure löslich wurden.[6]) Die beiden Forscher weisen ausdrücklich darauf hin, daß solche Beobachtungen wohl auch für Mineralboden Beachtung verlangen dürften.[7]) Ähnliche Feststellungen wie sie machte beim Erhitzen von Moorboden auf 160° auch W. Hofmeister.[8]) Neuere Untersuchungen von J. König und seinen Mitarbeitern über das Dämpfen von Erdboden haben ergeben, daß in den von ihnen untersuchten Fällen Erhitzen des Bodens auf 150—200° in trockenem Zustande[9]) zwar die Löslichkeit des darin ent-

---

[1]) E. W. Hilgard, Forsch. Geb. Agrikulturphysik **2**, 450 (1879).

[2]) E. Heiden, Düngerlehre **2**, 944 (Hannover 1887).

[3]) B. Tacke und H. Süchting, Landw. Jahrb. **41**, 724—725 (1911).

[4]) Es lohnt sich, hierzu auf die Beobachtung von J. Alexander, Journ. Soc. Chem. Ind. **28**, 280 (1909), hinzuweisen. Danach sind Leim und Gelatine, wenn man sie zwei Stunden bei 130—150° „übertrocknet", in kochendem Wasser unlöslich. Also auch bei diesen sonst reversiblen Kolloiden durch Wärme ein Übergehen in einen Zustand der Unlöslichkeit.

[5]) B. Tacke und H. Süchting, a. a. O., 731.

[6]) B. Tacke und H. Immendorff, Landw. Jahrb. **27** (4), 326 (1898).

[7]) Ebendort 348.

[8]) W. Hofmeister, Verhalt. lösl. Phosphorsäure u. ihr. Wand. i. Boden (Insterburg 1904).

[9]) J. König, E. Haselhoff, J. Hasenbäumer und J. Clement, Landw. Versuchsstat. **61**, 387 ff., bes. 390 (1905). Man muß aus den Angaben, obwohl ein direkter Hinweis fehlt, wohl darauf schließen, daß trockener Boden erhitzt wurde.

haltenen Kalis nur ganz unwesentlich vermehrte, dagegen Erhitzen feuchten Bodens, also Dämpfen desselben bei über 100° gelegenen Temperaturen, zum Löslichwerden nennenswerter Mengen von Pflanzennährstoffen führte.[1]) Dazu denke man an die alte Vorschrift, daß der Ton beim Brennen in Öfen noch feucht sein mußte[2]), um das richtige, landwirtschaftlich erwünschte Ergebnis zu erreichen. Daß derartige lösende Wirkungen bei J. Königs Versuchen eintraten, konnte um so weniger überraschen, als bereits schon früher von L. Richter,[3]) von W. Krüger und W. Schneidewind[4]) wie von K. Aso,[5]) ähnliche Beobachtungen gemacht wurden. Dieselben sind dann auch von einer ganzen Anzahl anderer Forscher bestätigt worden,[6]) wie auch J. König und seine Mitarbeiter weitere Beiträge zu der Frage erbrachten.[7])

Besonders beachtenswert erscheint es noch, daß derartige Versuche auch den Beweis für eine immerhin bereits merkliche Veränderung der physikalischen Beschaffenheit der Böden, die ja naturgemäß noch mehr als die chemische von den Bodenkolloiden abhängt, erbrachten. Schon L. Richter stellte fest, daß sowohl trockenes wie feuchtes Sterilisieren des Bodens seine Porosität[8]) erhöhe, was mit Veränderungen der Bodenkolloide im Sinne einer Verkleinerung der Oberfläche beziehensweise Zusammenballung von Bodenkolloiden gut erklärt werden kann. In gleicher Richtung liegt die Beobachtung P. Kosaroffs,[9]) daß Auszüge aus sterilisierten Böden sich viel leichter filtrieren ließen als solche aus unsterilisierten. — Wenn man das oben[10]) schon Gesagte und das hier Erwähnte im Auge behält, so erscheint es auffallend, daß z. B. in Arbeiten der biologischen Anstalt für Land- und Forstwirtschaft noch jetzt[11]) die Anschauung Platz finden kann, der einzige Unterschied von sterili-

[1]) J. König, J. Hasenbäumer und E. Coppenrath, Landw. Versuchsstat. **63**, 471—472 (1906).

[2]) Vgl. oben 458, Anm. 2.

[3]) L. Richter, Landw. Versuchsstat. **47**, 269 (1896).

[4]) W. Krüger und W. Schneidewind, Landw. Jahrb. **28**, 227—229 (1899).

[5]) K. Aso, Bull. Coll. Agriculture, Imp. Univ. Japan (Tokio 1904) **6**, 277.

[6]) Z. B. C. Schulze, Landw. Versuchsstat. **65**, 137 ff. (1907); Th. Pfeiffer, L. Frank, K. Friedländer, P. Ehrenberg, Mitteil. landw. Inst. Univ. Breslau **4**, u. a. 776 (1909).

[7]) J. König, Landw. Versuchsstat. **66**, 425 ff. (1907); **69**, 9 ff., ebenso 29, (1908).

[8]) L. Richter, Landw. Versuchsstat. **47**, 269 (1896).

[9]) P. Kosaroff, Arbeit. Biol. Anstalt für Land- u. Forstw. **5**, H. 3, 126 (Berlin 1906).

[10]) 216 ff.

[11]) Arbeit. Biol. Anstalt Land- und Forstw. **8**, H. 2, 264 (Berlin 1911).

siertem gegen nicht sterilisierten Boden sei die Ausschaltung der Organismen. Dabei scheint mit gelegentlichen andersgearteten Einwirkungen selbst in der hier in Frage kommenden Arbeit an einer anderen Stelle gerechnet zu werden.[1] Die an dem erwähnten Orte beabsichtigte Erforschung der Ursachen des Wurzelbrandes der Zuckerrüben wird kaum zu einem abschließenden Ergebnis gelangen können, wenn man sogar so starke Einflüsse auf die physikalische Bodenbeschaffenheit, wie sie durch Sterilisieren des Erdbodens bei 120° im Dampftopf während dreimal zwei Stunden[2]) bedingt werden müssen, völlig unbeachtet läßt.

Wenn wir noch erwähnen, daß man noch in neuester Zeit an eine Wiederbelebung des Tonbrennens gedacht hat, um in schwerem Boden Adern von gebranntem Tonboden gewissermaßen die Stelle von Dränröhren vertreten zu lassen,[3] sowie daß das Brennen des Bodens als sog. Schiffeln[4] in der Eifel noch bis auf den heutigen Tag,[5] wie schon zurzeit von J. N. v. Schwerz[6] ausgeführt wird, so mag damit das Wichtigste über diese mehr und mehr verschwindende Grundverbesserung gesagt sein. Über die Dauer ihrer Wirkung wechseln die Angaben, man kann aber wohl annehmen, daß die physikalische Verbesserung der Bodenbeschaffenheit eine länger dauernde ist; denn ein Zurückgehen des gebrannten Tons in den Zustand der Bildsamkeit ist, wenn überhaupt, erst nach längerer Zeit zu erwarten.[7]

e) Höhenrauch.

Es sei zuletzt noch als für die Kolloidchemie bemerkenswerte Folge der alten Brandkultur auf Mineral- und besonders auf Moorboden der Höhenrauch angeführt, der, eine kolloidartige Verteilung fest-gasförmig,

[1]) Ebendort 273. — [2]) Ebenda 262.

[3]) W. Bagger, Deutsch. Landw. Presse **34**, 695 (1907).

[4]) Vgl. O. Beck, Journ. Landw., n. F., **6**, 464 ff. (1861).

[5]) P. Ehrenberg, Landw. Jahrb. **33**, 18 (1904). In Indien besteht in dem sogenannten „Rab"verfahren eine Art von Brandkultur, vgl. Mem. Dep. Agr. Ind. Chem. **2**, 141 (1912).

[6]) J. N. von Schwerz, Landwirtsch. in Westfalen **2**, 152—153 (1837).

[7]) A. Mayer, Journ. Landw. **54**, 50 (1906), rechnet damit nach „langdauernder Verwitterung"; für völlig ausgeschlossen erachten es W. Bagger, a. a. O., ferner P. Rohland, R. Abeggs Handb. anorgan. Chem. **3**, Abt. 1, 103 (Leipzig 1906). Der einzige Forscher aber, der wirklich über experimentelle Kenntnisse auf diesem Gebiete zu verfügen scheint, Br. Kerl, — Handb. ges. Tonwarenind., 3. Aufl., 55 (1907), — stellt fest, daß fein gepulverter, gebrannter Ton mit Wasser nicht, oder erst nach sehr langem Mahlen und langanhaltendem Lagern in feuchtem Zustande wieder plastisch wird. Man vergl. auch J. Lemberg, Inauguraldissertation (Dorpat 1877), 23, 39.

unter Umständen so lange in der Luft verteilt zu bleiben vermochte, daß er von Ostfriesland aus je nach der Windrichtung bis in die Gegend von Lyon, Krakau und der Bretagne gelangte.[1]) Die eigenartigen Deutungsversuche für diesen, nur durch umfangreiche Brandkultur[2]) zu erklärenden Höhenrauch[3]) und die sich sonst an ihn knüpfenden Auseinandersetzungen können uns hier nicht beschäftigen. Daß er in manchen Jahren sich nicht besonders bemerkbar machte, wird außer auf niederschlagenden Regen auch auf Elektrizitätswirkungen zurückzuführen sein, die ja bekanntlich auch auf Rauch zusammenballend, ausflockend wirken.

2. Dränage.

Daß durch Dränage und ähnliche Arten der Entwässerung die Kolloide des Bodens beeinflußt werden, ist nicht zu bezweifeln. Allerdings liegen diesbezügliche Untersuchungen, ja auch nur Beobachtungen, so gut wie überhaupt nicht vor. Man darf aber annehmen, daß der günstige Einfluß, den Dränage auf kolloidreiche Böden ausübt, wozu ja ebenso die schweren wie die Moorböden zu rechnen sind, zum Teil auch auf Beeinflussung der Bodenkolloide zurückgeführt werden muß. Die weit schnellere Wasserabfuhr bedingt, daß diese häufiger und längere Zeit hindurch in mehr oder weniger stark entwässertem Zustande verharren müssen. Andrerseits könnte man auch annehmen, daß durch das erheblich schnellere Versinken des Wassers bis zu den Dränröhren feine Bodenteilchen in erhöhtem Maße in die Tiefe geführt werden. Das wird ja auch nicht selten dadurch näher kenntlich gemacht, daß die Röhren sich verstopfen, zumal wenn das Gefälle in ihnen nicht ausreicht. Der beim Legen der Röhren gelockerte Boden vermag auch nicht in dem Maße, wie „gewachsener" Boden, die feinen Teilchen filterartig zurückzuhalten. Verstopfung von Dränröhren behandelt G. Richter[4]) und unterscheidet Versandungen, Verockerungen[5]) — durch Eisenhydroxyd — und Verwachsungen. Daß unter Umständen die Dränwässer auch Bodenkolloide mit fortführen, ist jedenfalls nicht zu bezweifeln, wenn auch die in Betracht kommenden Mengen während kürzerer Zeit zumeist nur gering

[1]) M. A. F. Prestel, Journ. Landw., 2. F., **3**, 190 ff. (1868).
[2]) Mit ihrem Verschwinden ist auch er ausgeblieben.
[3]) Literatur dazu vgl. A. Muttrich, Arch. deutsch. Landw.-Rats (1882) Vgl. auch F. Arends, Rasenbrennen u. Moorbrennen (Hannover 1826) 145.
[4]) G. Richter, Kulturtechniker **17**, 217 (1914).
[5]) Kulturtechniker **5**, 18 (1902); **15**, 104 (1912); **16**, 129 u. 226 (1913); Hannov land- u. forstw. Zeitg. **66**, 1075 (1913).

sein dürften und daher wohl nur sehr selten Beachtung gefunden haben.[1]) Um richtig zu urteilen, muß man freilich berücksichtigen, daß auch ein geringer Bruchteil fürs Liter Dränwasser doch im Laufe der Jahre und für die ganze abfließende Feuchtigkeit zu erheblichen Mengen anwachsen kann, zumal überhaupt die Bodenkolloide nicht in so großen Mengen im Boden vorhanden sind, wie man gelegentlich annahm.

Nähere Prüfung der hier vorliegenden Verhältnisse möchte wohl noch hier und da ganz interessante Aufschlüsse geben; hier sei nur zum Schluß erwähnt, daß auf Moorboden Ausscheidung von Eisenhydroxydkolloiden zu völligem Verstopfen der Dränröhren führen kann,[2]) so daß umfangreiche Reinigungsarbeiten erforderlich werden. Es liegt nahe, die Ursache in Oxydation der in tieferen Schichten vorhandenen Eisenoxydulsalze zu erkennen.

3. Mischkultur.

a) Sand mit Ton.

Daß für leichten, der Bodenkolloide entbehrenden Boden Aufbringen von kolloidreicher Erde, wie Tonmergel oder ähnlichen Stoffen, in der Regel nützlich wirken wird, ist allbekannt, wie auch, daß, abgesehen von etwaiger Kalkwirkung, die Erhöhung der wasserfassenden Kraft hierbei entscheidenden Einfluß ausübt. Mit Vermehrung der Bodenkolloide nimmt die Menge quellungsfähiger Stoffe und ebenso die Größe der Oberfläche im Boden stark zu. Gleichzeitig wird die Bildung von dauerhafteren Bodenkrümeln voraussichtlich wesentlich gefördert. Wird umgekehrt Sand mit schwerem Boden gemischt, so kann man nicht nur mit der bloßen Tatsache der prozentischen Verminderung des Tonanteils am ganzen Boden rechnen, sondern muß, worauf schon gelegentlich hingewiesen wurde, auch einen Einfluß der Sandzugabe auf die Kolloide des Tonbodens annehmen.[3]) Leider sind die hierbei vorliegenden Verhältnisse noch wenig geprüft. Es muß sich um die von verschiedenen Seiten beobachtete Adsorption von Ton durch Sandkörnchen handeln.[4]) Immerhin läßt sich eine Untersuchung E. Wollnys vielleicht als sehr bedingter Hinweis verwerten. Als dieser Forscher nämlich Lehmboden mit Sand

[1]) Vgl. unten 467/8, ferner besonders bei Besprechung der Wirkungen des Chilesalpeters.

[2]) So vor einigen Jahren auf der Moorwirtschaft Klostergut Burgsittensen, Prov. Hannover.

[3]) Vgl. die oben besprochene Anwendung leicht gebrannten Tons; weiter auch C. Schneider, Fühlings landw. Ztg. **64**, 352 (1915).

[4]) Vgl. dazu oben 324 u. f.

vermischte und die dann erzielten mittleren Wassergehalte in Volumprozenten bestimmte,[1]) ergab sich für Hinzufügung: des ersten Viertels Quarzsand eine Verminderung von 5,50 % (für 1882) bzw. 4,54 % (für 1884); des zweiten Viertels Quarzsand eine Verminderung von 5,77 % bzw. 6,06 %; des dritten Viertels Quarzsand eine Verminderung von 6,40 % bzw. 7,22 % des mittleren volumprozentischen Wassergehalts. Das heißt, durch weitere Hinzufügung der gleichen Menge Quarzsand verminderte sich der Wassergehalt nicht entsprechend, sondern stärker. Die Unterschiede sind allerdings gering und nach der ganzen Anlage des Versuchs[2]) nicht als beweisend anzusehen. Doch ist das gleiche Ergebnis in zwei Jahren immerhin wohl geeignet, zur Wiederholung in geeigneter Form zu veranlassen. Wenn man nicht Lehm, der ohnehin schon große Mengen von Sand enthält, sondern Ton zu dem Versuche verwenden würde, so möchte er auch schärfere Ergebnisse zeitigen. Zu beachten ist dabei noch, daß nur Sand von einer gewissen Mindestgröße an aufwärts die Eigenschaften des Tons derart vermindert. Schon Radianu wies darauf hin, daß Böden mit hohem Gehalt an feinstem Sande sich in vieler Beziehung tonigen Böden ähnlich verhalten,[3]) wie auch A. Atterberg die Beobachtung machte, daß Sandkörner unter 0,02 mm Durchmesser dem Boden den Charakter von Lehm zu verleihen beginnen.[4]) Eine ähnliche Unterscheidung und Heraushebung der feinsten Sande hatte bereits Th. Schlösing d. Ä. mit allerdings etwas anderen Grenzzahlen durchgeführt,[5]) ebenso E. W. Hilgard.[6]) Ton würde also wesentlich nur durch Hinzufügung von Sand in seinen Eigenschaften verändert werden können, der gröber als diese „feinen" Sande ist. Das liegt nahe, da ja nach unseren oben gegebenen Ausführungen Ton überhaupt noch sehr viel feinste Sande enthält. Eine Tatsache, die sich nach Th. Schlösing d. Ä.[7]) auch durch die Bildung der bekannten Schichten[8]) bei Absetzen einer Ton-

[1]) E. Wollny, Zersetz. organ. Stoffe (Heidelberg 1897) 352.

[2]) E. Wollny, Forsch. Geb. Agrikulturphysik **18**, 33 (1895).

[3]) Radianu, Journ. agricult. prat. **44**, 674 (1880).

[4]) A. Atterberg, Landtbr. Akad. Handl. och Tidskr. (Stockholm 1897) 385.

[5]) Th. Schlösing d. Ä., Compt. rend. **136**, 1608 (1903). Er zieht dabei Sande mit einem Durchmesser von 0,1—0,002 mm heran. Weiter ebendort **137**, 369 (1903).

[6]) Zit. nach R. Warington, Lect. some physic. propert. soil (Oxford 1900) 26. Er berücksichtigt Sande mit einem Durchmesser unter 0,017 mm.

[7]) Th. Schlösing d. Ä., E. Frémys Encyclop. chim. **10**, 69 (Paris 1885).

[8]) Vgl. u. a. W. Brewer, Sill. Amer. Journ. [3] **29**, (1885); C. Barus, Bull. U. S. Geolog. Survey Nr. **36** (1886); beide zit. in Koll.-Zeitschr. **1**, 48 (1906). Ferner P. Ehrenberg, E. Hahn, O. Nolte, Koll. Zeitschr. **21**, 1 (1917), wo auch weitere Literatur.

aufschwemmung kennzeichnet. Die Sande schichten sich beim Absetzen in Wasser nach Größe, spezif. Gewicht und anderen dafür maßgebenden Eigenschaften. — Doch zurück zur Wirkung von gröberem Sand auf Ton, von der E. W. Hilgard u. a. besonders die Verminderung der Bildsamkeit hervorhebt.[1]) Weiter gibt W. Schumacher an,[2]) daß bei Vermischen von Ton mit Quarzsand nach Schübler 100 Gewichtsteile an Wasser aufnahmen:

Fast reiner Ton.	74	Gewichtsteile
Fetter Ton mit 16 % Sand .	61	,,
Fetter Ton mit 24 % Sand .	50	,,
Magerer Ton mit 40 % Sand.	40	,,

Ebenso wurde ermittelt, daß die gleichen Proben, voll mit Wasser gesättigt, davon bei 18,75° in vier Stunden an Wasser verloren von 100 Teilen aufgenommenen Wassers:

Fast reiner Ton.	31,9	Gewichtsteile
Fetter Ton mit 11 % Sand .	34,9	,,
Fetter Ton mit 24 % Sand .	45,7	,,
Magerer Ton mit 40 % Sand.	52,0	,,

Dazu gehört die Angabe G. Schüblers, daß das Schwinden von fast reinem und mit wechselnden Sandmengen versetztem Ton sich folgendermaßen darstellte:

	Das Volum 1000 ergab nach dem Austrocknen ein Volum von
Bei fast reinem Ton . . .	817
dgl. mit 11 % Sand .	886
dgl. mit 24 % Sand .	911
dgl. mit 40 % Sand .	940

Th. Schlösing d. Ä. hat versucht, für einige von ihm untersuchte Ton- bzw. Sandsorten festzustellen, wieviel Ton erforderlich war, um einem Sande noch völliges Zusammenhalten seiner Krümel trotz gänzlicher Durchtränkung mit kalksalzhaltigem Wasser zu ermöglichen.[3]) Sonst liegen wohl überhaupt noch keine Untersuchungen über den Einfluß des gegenseitigen Verhältnisses von Bodenkolloiden und Sand auf das Verhalten des Bodens vor. Daß aber auch die soeben angeführten und ähnliche Versuche nur geringe Aufschlüsse zu geben vermögen, ist leider

[1]) E. W. Hilgard, Soils (Neuyork 1906), a. a. O. 59, Anm. 3.
[2]) W. Schumacher, Physik in Anwend. a. Agrik. Pflanzenphys. **1**, 190 (1864).
[3]) Th. Schlösing d. Ä., Compt. rend. **74**, 1408 (1872).

naheliegend. Denn sowohl der benutzte Ton wie der Sand sind in keiner Weise gegeneinander und gegen etwaige ähnliche andere Bodensorten scharf gekennzeichnet. Das wäre aber unbedingt erforderlich, soll nähere Klarheit geschaffen werden.

b) Moor mit Sand.

Ist somit über die Vorgänge, welche für die Bodenkolloide beim Mischen von Sand mit schwerem Boden oder umgekehrt in Betracht kommen dürften, nur wenig bekannt, so finden wir etwas, freilich nur wenig mehr über die Einflüsse des Mischens von Moorboden mit Sand bzw. auch Lehm oder Ton. Das Verfahren selbst ist alt [1]) und hat mancherorts bei der Moorkultur eine Rolle gespielt, so z. B. seit alters her und noch in den achtziger Jahren, auch noch heute, in Finnland, wo man die Oberfläche der Moore mit dem kalireichen Ton mischt.[2]) Es werden dabei, wie ja auch zu erwarten, nicht nur die natürlich erheblich in Betracht kommenden Vorteile einer Kalizufuhr, sondern gleichzeitig eine physikalische Besserung der Mooroberfläche [3]) erreicht. Allerdings wird man, wie man dies bei den sehr ähnlichen Meeresschlickverbesserungen norddeutscher Moore bereits getan hat, mit einer Wiederholung der Mischung des Moors mit Ton nach kürzerer oder längerer Zeit rechnen müssen, da die Niederschläge die schweren Mineralteilchen beim Ackerbau in das lockere Moor hineinwaschen. [4]) Dies geschieht um so mehr, je weniger durch mäßige Kalkgaben oder in anderer Weise für Zusammenballung entstehender Aufschwemmungen der feinen Teilchen gesorgt wird. [5]) — Auf die starke gegenseitige Einwirkung von Ton und Humus weist bereits F. Senft hin: „Kommt durch Wasser fein verteilter Humus mit einem recht dünnen Tonschlamm in Mischung, so saugen sich beide Körper so fest an, daß auf jedes Tonteilchen irgendeine Menge Humus kommt, wodurch ein grauschwarzes Gemisch entsteht, welches beim allmählichen Austrocknen eine feinkrümelige, stets feuchte, mürbe Bodenmasse darstellt." [6]) — Auch G. Appelt wies auf die gegenseitige Einwirkung von

[1]) Vgl. z. B. auch C. Sprengel, Urbarmach. u. Grundverb. (1838) 295.

[2]) Alex. Müller, Landw. Jahrb. **19**, 645 (1890); A. Rindell, Jahrb. Moorkunde **1**, 19 (1912).

[3]) Hj. von Feilitzen und Stalström, nach dem Bericht in den Mitteil. Ver. Förder. Moorkult. **17**, 152 (1899).

[4]) A. v. Rosenberg-Lipinsky, Der praktische Ackerbau **2**, 414 (1890).

[5]) Natürlich ist auch bei Anwendung des Tons zu Sand mit Auswaschung zu rechnen. Vgl. auch C. Schneider, Fühlings landw. Ztg. **64**, 363 (1915).

[6]) F. Senft, Steinschutt u. Erdboden (Berlin 1867) 307.

Ton und Humus hin.[1]) Th. Schlösing d. Ä. endlich gibt an, daß die Humuskolloide den Ton wie in ein Netz („reseau“) gefangen nehmen, und ihm die Fähigkeit rauben, sich unter der Wirkung von Wasser zu zerteilen sowie sich mit sich selbst beim Trocknen fest zu verbinden.[2]) Daß es sich hierbei sehr wahrscheinlich um Adsorptionswirkungen mit ihnen folgenden weiteren, vermutlich auch chemischen Veränderungen handelt, kann hier nur kurz erwähnt werden, da leider Versuche, welche Aufschluß geben könnten, noch fast ganz fehlen. Maßgebend wird das Mengenverhältnis der aufeinanderwirkenden Ton- und Humusstoffe sein.

Besonders hat die Mischung der Mooroberfläche mit Sand aber schon in den Fehnkolonien Groningens und dann auch an anderen Orten Bedeutung gewonnen.[3]) Dann sind durch M. Fleischer die ersten Erfahrungen der Moor-Versuchsstation Bremen in dieser Richtung mitgeteilt worden,[4]) denen Veröffentlichungen B. Tackes folgten.[5]) Nach den ersten tritt bei Mischung der oberen Schichten von Hochmoor mit Sand auch eine starke Hinderung der Luftbewegung im Moore ein, die für die Ertragsfähigkeit sehr hinderlich sein kann und der M. Fleischer den wesentlichen Grund für die beobachteten Mißerfolge der Versuche mit Sandmischkultur beimißt.[6]) Weiter spielt auch nach M. Fleischer die Beeinflussung der wasserfassenden Kraft des Moores durch das Mischen eine erhebliche Rolle; doch sind seine hierzu im besonderen angestellten Versuche zur Aufklärung der dabei wahrscheinlich auch in Betracht kommenden kolloidchemischen Verhältnisse leider nicht brauchbar, weil das benutzte Moormaterial vor der Sättigung mit Wasser ausgetrocknet und so bereits weitgehend in seiner Kolloidbeschaffenheit beeinträchtigt worden war.[7]) So wäre die exakte Prüfung der Einwirkung der Mischung mit Sand für naturfrisches Moor auch heute noch eine zur Erweiterung unserer Kenntnisse sehr erwünschte Arbeit. Auf einen Umstand muß aber besonders hingewiesen werden, da er gerade in der Richtung unserer Besprechungen hier liegt und M. Fleischer ihm anscheinend keine größere Beachtung geschenkt hat. Wir werden allerdings später

---

[1]) G. Appelt, Pflanze u. Boden (Breslau 1889) 63.

[2]) Th. Schlösing d. Ä., Ann. Chim. Phys. [5] **2**, 514 (1874); Compt. rend. **74**, 1408 (1872).

[3]) F. Borgesius, Journ. Landw. n. F. **3**, 213, 277 ff. (1859).

[4]) M. Fleischer, Landw. Jahrb. **20**, 497 (1891).

[5]) B. Tacke, Landw. Jahrb. **27**, Ergbd. **4**, bes. 110 (1898).

[6]) M. Fleischer, a. a. O. 526.

[7]) M. Fleischer, Landw. Jahrb. **20**, 790 ff. (1891). Auch 803.

sehen, daß er ihn für andere, recht ähnliche Verhältnisse als bedeutsam ansah.[1])

Hier sei zunächst darauf hingewiesen, daß M. Fleischer bei Versuchen, für die Torf mit einem sehr feinkörnigen Seesand gemischt worden war,[2]) beobachten mußte, daß „der Seesand in hohem Maße das Bestreben zeigte, sich auf dem Boden des Gefäßes anzusammeln“.[3]) Es trat also eine überaus deutliche Durchschlämmung des feinen Sandes ein, die natürlich auf nicht vorher getrocknetem, naturfrischem Moorboden in seiner natürlichen Lage wohl nicht derart merkbar gewesen wäre. Vorhanden wird sie indes gewiß auch dort sein und im Laufe der Zeit wohl nicht ganz geringe Wirkungen auszuüben vermögen. Ist es doch z. B. vom Seeschlick bekannt, daß er sogar auf Wiesen und Weideland (natürlich ist auch Moor gemeint) mit der Zeit nach unten sinkt,[4]) obwohl hier die Grasnarbe die Hinabschlämmung erheblich vermindern dürfte. Auch für die finnländischen Moorverbesserungen mit kalireichem Glazialton wird berichtet,[5]) daß das Verfahren alle sechs Jahre wiederholt wird, wobei wohl auch das Versinken eine Rolle spielt.

Die für M. Fleischers Beurteilung der Sandmischkultur auf Hochmoor grundlegenden Versuche sind nun aber auch mit einem feinkörnigen[6]) Sande ausgeführt worden. Dieser wird eine ganz erhebliche Menge solcher Teile enthalten haben, die auch auf die Bezeichnung „sehr feinkörnig“ hätten Anspruch machen können; sogar grober Sand enthält immer eine gewisse Menge feiner und feinster Teilchen, wie u. a. Thieme beobachtete. Er sagt: „So geringfügig und unscheinbar diese Schlammteilchen an Menge auch sein mögen, so kommt ihnen doch ein großes Gewicht für die Durchlässigkeit der Sande zu.“[7]) Die Beseitigung der Schlammteilchen erhöhte die Durchlässigkeit eines Sandes z. B. auf das Doppelte.

Nun bedenke man, daß bei einem mit Sand oberflächlich gemischten und dadurch in der obersten Schicht stark gelockerten Moorboden gerade

[1]) Nämlich bei Sanddeckkulturen. M. Fleischer in Ch. A. Voglers Kulturtechn. **1**, Teil 1, 141, Anm. 1 (Berlin 1909). Weiter unten 472/3.

[2]) Auch hier wurde leider lufttrockener Moorboden erst wieder mit Wasser gesättigt.

[3]) M. Fleischer, Landw. Jahrb. **20**, 791 (1891).

[4]) Mitteil. d. Moorversuchsstat. Bremen, Zentralbl. f. Agrikulturchem. **10**, 207 (1881).

[5]) Hj. von Feilitzen und Stalström, Mitteil. Ver. Förder. Moorkultur **17**, 152 (1899).

[6]) M. Fleischer, a. a. O. 532.

[7]) Thieme, Gesundheitsingenieur **31**, 321 (1908)

diese feinen Teilchen leicht in die Tiefe gewaschen werden müssen, wenn nicht Mergelgaben oder ähnliche Umstände sie in größerem oder geringerem Umfange zusammenflocken. Die Hinabwaschung wird noch um so leichter und stärker eintreten, als die Humuskolloide des Moorbodens ihre Schutzwirkungen[1]) äußern werden. Wohl zu beachten dürfte sein, daß gebrannter Kalk, bevor er in Karbonat übergegangen ist, möglicherweise durch seine basische Beschaffenheit die Hinabwaschung zunächst sogar etwas vermehrt. Ein anderer, wichtigerer Umstand bei der Kalkdüngung, die Vermehrung der Kohlensäurebildung, wird noch weiter unten zu behandeln sein.

Nehmen wir demnach bei Sandmischkultur auf Moorboden eine Hinabwaschung der feinsten Bestandteile des Sandes als wahrscheinlich und ihren Umfang als bedeutungsvoll an, falls nicht für Ausflockung in möglichst weiter Ausdehnung gesorgt ist, so tritt die Frage auf, wie weit hinab diese Wanderung gehen wird? Hier mag man sich an M. Fleischers Feststellung erinnern, daß die Belastung des Moores mit Sand auch bei der Mischkultur, verbunden mit anderen Folgen derselben, die Durchlüftung der daruntergelegenen Moorschichten stark vermindert und dementsprechend ihre Zersetzung hemmt. Da diese tiefere Schicht weiter ja eben von der Mischung mit dem Sande nicht betroffen und daher nicht aufgelockert worden ist, so wird sie der darüberliegenden, gemischten Sand-Moorschicht gegenüber wesentlich andere Durchflußbedingungen für Wasser und von diesem mitgeführte Stoffe bieten. Und es ist so mit einiger Wahrscheinlichkeit anzunehmen, daß gerade die Grenze zwischen ungelockertem Moor und Sandmoorschicht die größte Menge der hinabsinkenden feinen Mineralteilchen festhält. Wir werden später, bei Behandlung der für Sanddeckkultur in Betracht kommenden Verhältnisse sehen, daß die tatsächlichen Beobachtungen hiermit übereinstimmen.

Man darf sonach annehmen, daß es auch bei der Sandmischkultur zur Ausbildung einer verfestigten Schicht an der Grenze von ungelockertem Moor und gemischter Sandmoorschicht kommen kann, die sowohl dem Wasserhaushalt Schwierigkeiten macht, wie auch die Pflanzenwurzeln auf ihrem Wege in die Tiefe hemmt. Daß dies wohl auch tatsächlich eintreten dürfte, lehrt die Feststellung M. Fleischers, daß auf „den bloß mit Kalk und Kunstdünger[2]) gedüngten Parzellen der Sandmisch-

[1]) Vgl. dazu oben 28, 61, 388/89 und an anderen Stellen.

[2]) Der die Hinabwaschung begünstigende Chilesalpeter wurde auf den in Betracht kommenden Stücken sowohl im Jahre 1884, wie auch vorher 1880, 1881 und 1883 angewandt. Ferner war starke Kalirohsalzdüngung gegeben, vgl. 470 unten.

kultur im Jahre 1884 die Runkelrüben nur auf etwa 14 cm nach unten gewachsen waren, und sich dann derartig umgelegt hatten, daß das untere Ende der Rübe senkrecht zum oberen Ende stand"!

Auf den anderen Stücken des betreffenden Versuchs war entweder Seeschlick oder städtischer Dünger [1]) in erheblicher Menge benutzt worden. Hierdurch war wahrscheinlich nicht nur eine bessere Versorgung der Pflanzen mit Nährstoffen erreicht worden — diese wäre wohl auch durch Kunstdüngung zu ermöglichen gewesen —, sondern vor allem eine Verminderung der Hinabwaschung. Wie, soll sogleich ausgeführt werden:

Auf den mit Sand gemischten Moorstücken, die zu Beginn des Versuchs gebrannten Kalk erhalten hatten und eigentlich dauernd Mindererträge erbrachten, hat sich nach meiner Annahme durch Hinabwaschung eine verdichtete Schicht zwischen gemischter Oberkrume und darunterliegendem Moor gebildet, was durch M. Fleischers oben wiedergegebene Beobachtung wohl auch erwiesen ist. Wie kann aber gerade auf den gekalkten Stücken, entgegen der zumeist verbreiteten theoretischen Anschauung über Kalkwirkung auf Bodenkolloide, eine starke „Sol"-Bildung feiner Sande [2]) und damit starke Hinabwaschung zustande kommen? — Das wird leicht eingesehen, wenn wir der Ausführungen über Salzwirkungen bei Meeresüberschwemmungen und Schwarzalkaliboden eingedenk sind.[3]) Der mit der oberen, aus Sandmoorgemisch bestehenden Bodenkrume durchgearbeitete gebrannte Kalk muß recht stark zersetzend auf das Moor gewirkt haben, so daß dieses unter reichlicher Kohlensäurebildung verging. Das erhärten auch die Beobachtungen M. Fleischers.[4]) Außerdem hatten die Versuchsstücke eine sehr reichliche Düngung mit Kalirohsalz erhalten, im ersten Jahre 80, im zweiten 120, im dritten 150 kg Kali auf den Hektar in Form von Kainit; in den folgenden Jahren ähnliche Mengen.[5]) Was liegt näher, als anzunehmen, daß bei Gegenwart von viel Kohlensäure, reichlichen Mengen von Kalk,[6]) sowie Alkalisalzen aus dem Kainit es zu einer Bildung von Soda gekommen ist, ganz wie das oben[7]) ausgeführt und

[1]) Gemenge sämtlicher häuslichen Abfall- und Auswurfstoffe.

[2]) So kann man hier wohl sagen, ohne mißverstanden zu werden.

[3]) Vgl. besonders oben 337, 349 ff.

[4]) M. Fleischer, Landw. Jahrb. **20**, 553 (1891).

[5]) Ebendort 503—514.

[6]) Die in Betracht kommenden Stücke, 15 u. 16 des M. Fleischerschen Versuchs, wurden außer der Gabe von 40 dz gebranntem Kalk je ha zum Beginn noch weiter im dritten Versuchsjahr mit 44,50 dz Uelzener Mergel auf den ha versehen. Vgl. a. a. O. 502.

[7]) Oben 337, 349 ff.

durch zahlreiche theoretische und praktische Beobachtungen belegt werden konnte. Die Soda hat dann im Verein mit Humusstoffen die Hinabwaschung feinster Teilchen sehr begünstigt und so die schädliche Schichtbildung verursacht. Und gewissermaßen instinktiv hat M. Fleischer dann auch ein Hilfsmittel in Anwendung gebracht, das durch seinen guten Erfolg diese soeben gebrachten Ausführungen noch weiter bestätigen dürfte: er hat, indem er zum Ersatz zersetzter Moormasse in der gemischten Ackerkrume tiefer pflügen und neues Moor heraufbringen ließ,[1]) zugleich auch die undurchlässige oder schwer durchlässige Schicht zwischen Krume und darunterliegendem Moor zerstört, und so zweifellos das Wachstum besonders für tiefer wurzelnde Pflanzen wesentlich erleichtert.

Im Anschluß an diese Ausführungen wäre noch manches Schlaglicht auf Fragen der Moorkultur zu werfen. Doch sei hier nur noch mitgeteilt, weshalb bei den gleichen Versuchen die Kalkung der nur mit Sand bedeckten Moorschichten nicht derart ungünstig wirkte und weshalb gleichfalls Seeschlick und Stadtdünger bei Mischkultur nicht so schädigten.

Bei dem bedeckten Moor wurde der gebrannte Kalk dem Moore einverleibt und dann darüber, ohne Mischung, die Sanddeckschicht gegeben. Dadurch wurde, wie das M. Fleischer ja auch selbst angibt,[2]) die Durchlüftung erheblich gehemmt und naturgemäß auch die Zersetzung des Moores und die Kohlensäurebildung stark zurückgehalten. Der verminderten Bildung von Kohlensäure gemäß wird auch die Sodabildung erheblich vermindert gewesen sein; und wenn es zu einer solchen kam, so fand sie in der Sanddecke keine erheblichen Mengen von Moorsubstanz vor, die zum Teil als Schutzkolloid wirkend, die Durchschlämmung gemeinsam mit der Soda hätte besonders fördern können. Bei den mit Seeschlick bzw. Stadtdünger gemischten Stücken aber wurde zum Teil kein Chilesalpeter gegeben, zum Teil auch kein Kalisalz;[3]) sowohl Schlick wie Stadtdünger führten in ihren großen Mengen dem Sandmoormischboden aber auch adsorbierende Stoffe aller Art zu,[4]) und dürften auch vielleicht in der ersten Zeit die Lockerheit und damit die Auswaschbarkeit der oberen Krumenschicht etwas vermindert haben.

Daß aber, wenn auch in erheblich vermindertem Maße, auch bei

[1]) Vgl. M. Fleischer, a. a. O. 553; ferner Angaben B. Tackes in Landw. Jahrb. **27**, Ergbd. **4**, 110 (1898).

[2]) M. Fleischer, a. a. O. 526.

[3]) M. Fleischer, a. a. O. 500 ff.

[4]) Worauf M. Fleischer selbst hinweist, a. a. O. 527. Auch die Angaben 545 sind heranzuziehen.

den Seeschlick- und Stadtdüngerstücken des M. Fleischerschen Versuchs eine Hinabwaschung in gewissem Umfange eingetreten sein dürfte, die dann später durch tieferes Pflügen wieder beseitigt wurde, ist nach den leider nur sehr spärlich vorliegenden neueren Mitteilungen durchaus wahrscheinlich.[1])

Ja, man könnte wohl die Frage aufwerfen, ob nicht auch in den alten niederländischen Fehnkolonien, bei denen gleichfalls die oberste Schicht des Moores mit Sand gemischt wurde, Beobachtungen über das Hinabwaschen feiner Teilchen gemacht worden sind. Um so mehr, als gerade ein an feinen Teilchen reicher Sand besonders für die Verwendung bei Mischkultur empfohlen wurde.[2])

Darauf sei als Antwort erwähnt, daß man bei der Kultur nicht etwa den aufgebrachten Sand sofort mit dem Moor vermischte. Er wurde zunächst im Spätherbst oder Winter aufgebracht und gleichmäßig dicht verteilt. Dann lag das Land bis zum Sommer und wurde nun so tief gepflügt, daß der Pflug noch 2 Zoll Moorboden mitnahm. Nach gründlicher Vermischung von Moor und Sand bleibt das Land einige Zeit der Einwirkung der Luft ausgesetzt und wird dann tiefer gepflügt, so daß wieder 2 Zoll Moor vom Pfluge gefaßt werden. Auf erneute tüchtige Durchmischung folgt endlich eine dritte, noch tiefere Furche, wobei abermals 2—3 Zoll Moor vom Pfluge erfaßt werden.[3]) — Ich möchte fast annehmen, daß man die Durchschlämmung von feinen Teilchen gerade in der ersten Zeit, wo das Moor, locker und wenig zersetzt, dazu besonders neigen mußte, oder wenigstens ihre schädliche Folge, die Bildung schwer durchlässiger Schichten, gekannt und durch häufiges Tieferlegen der Pflugfurche unschädlich zu machen gewußt hat. Doch liegt dafür ein Beweis nicht vor.

4. Sanddeckkultur.

M. Fleischer gibt gelegentlich[4]) den folgenden Hinweis: „Fast undurchlässige, für den Pflanzenwuchs verhängnisvolle Schichten bilden sich namentlich leicht, wenn dichte, massive Bodenbestandteile, z. B. Sandkörner, mit quellungsfähigen Stoffen zusammenkommen. So bei der Rimpauschen Moordammkultur, bei der unter dem Druck der Sanddecke und der Bestellungs- und Erntegeräte die unterste Decksand-

[1]) B. Tacke, a. a. O. 110.
[2]) F. Borgesius, Journ. Landw., n. F, 3, 220 (1859).
[3]) Ebendort 218—219.
[4]) M. Fleischer, Ch. A. Voglers Kulturtechn. 1, Teil 1, 141, Anm. 1 (Berlin 1909).

lage mit den obersten Moorerdeteilchen zu einer äußerst dichten Schicht sich zusammenlagern kann."

Nach den Ausführungen, die ich soeben zur Sandmischkultur auf Moorboden gegeben habe, wird sich der Leser hierzu die erforderliche Aufklärung selbst geben können. Wenn auch nicht geleugnet werden soll, daß die von M. Fleischer angeführte Erklärung gelegentlich vorteilhaft mit herangezogen zu werden vermag — häufig wird das wohl kaum sein; denn man kann ja neuerdings die Walzen zum Zusammenpressen des Hochmoors[1]) kaum schwer genug erhalten, und eine Schichtbildung durch Druck müßte erst bewiesen werden —, so muß doch wahrscheinlich die Haupterklärung für solche Schichtenbildung auf dem Gebiet der Durchschlämmung feiner Teilchen des Sandes gesucht werden. Allenfalls mag die von C. von Seelhorst hervorgehobene, gewissermaßen plättende Wirkung der Sohle des Pfluges noch eine gewisse Rolle spielen.[2])

Alles, was bei der Sanddeckkultur solch Hinabspülen irgendwie begünstigen kann, also in erster Linie Sodabildung, bedingt durch Anwendung von Chilesalpeter in erheblichem Umfange, oder durch Kohlensäure und Kalk bei Gegenwart von Alkalisalzen, wie dies ja nun schon mehrfach besprochen ist, muß auf Entstehen solcher Schichten hinwirken. Ebenso hoher Gehalt des Decksandes an feinen Teilchen, mangelnder Schutz der Krumenfläche gegen den Regenaufprall, wie überhaupt starke Güsse des salzarmen Regenwassers. Mit wenigen Worten: Alles, was die Krümelbildung, den Zustand des Ausgeflocktseins in der Sanddeckschicht fördert, wirkt der Schichtbildung entgegen, alles was den Solzustand begünstigt und die Krümel löst, trägt dazu bei, daß es zur Bildung einer mehr oder weniger undurchlässigen Schicht dort kommt, wo den hinabsinkenden Bodenteilchen sich ein Hindernis in den Weg legt, also dort, wo an die Sanddecke Moor grenzt.

Gelegentliches, tieferes Pflügen, wodurch Moormasse in die Sanddecke gebracht wird, kann dabei nach zweierlei Richtungen hin wirken: Einmal ungünstig. Die Moormasse zersetzt sich in der Sanddecke wesentlich schneller, die Kohlensäurebildung wird dadurch vermehrt und damit auch die Möglichkeit des Auftretens von Soda. Andererseits aber günstig. Denn der etwas tiefer gehende Pflug faßt naturgemäß gerade die verdichtete Grenzschicht und vermischt sie wieder mit der Sanddecke, sie so beseitigend und den Pflanzenwurzeln freieren Weg hinab bahnend, dem Wasser natürlich auch hinauf.

---

[1]) Bei den Rimpauschen Moorkulturen handelt es sich allerdings in der Regel um Niederungsmoor.

[2]) C. v. Seelhorst, Journ. Landw. **63**, 266 (1915).

Nicht unbeachtet darf indes bleiben, daß solche Schichten bei dem Rimpauschen und ähnlichen Sanddeckverfahren auch auf andere Weise entstehen können. So quillt in manchen Mooren eisenoxydulhaltiges Wasser aus der Tiefe empor. Kommt es, vielleicht auch durch Kapillarkraft gehoben, an die Grenze des Moores, wo nun die Sanddecke beginnt, so findet es hier in dem weniger Wasser haltenden und demnach stärker durchlüfteten Sande bessere Bedingungen für seine Oxydation und wird sich in kolloides Eisenhydroxyd oder ähnliche Verbindungen umwandeln. So ist die Gelegenheit zur Bildung einer Gallertschicht vorhanden, die zunächst bei weiterem Austrocknen, indem sie schwindet und zerreist, und auch durch andere Umstände noch häufig durchbrochen und zerstört werden wird, mit der Zeit aber leicht eine dauernde Verhärtung verursachen dürfte,[1]) soweit nicht der Pflug, einmal tiefer fassend, auch dieses Hindernis beseitigt.

Ob weiter eine sonderbare, auf verschiedenen Moordammkulturen gemachte Beobachtung auf kolloidchemischer Grundlage beruht, sei als möglich, aber durchaus nicht als sicher hingestellt. Es sollen nämlich Feldstücke an den Stellen, die gegen Kartoffelkrankheit verwendetes Kupfersalz erhalten hatten, ganz wesentlich bessere Erträge ergeben haben.[2])

Eine Reizwirkung des Kupfersalzes auf landwirtschaftliche Kulturpflanzen hat man ja früher zumeist als sicher angenommen, besonders bei der Kartoffel. Aber wenn R. Ewert in seiner sorgfältigen Arbeit[3]) vor nicht langer Zeit feststellte, daß „für die von R. Aderhold[4]) auch neuerdings wieder ausgesprochene Behauptung, daß das Kupfer von einer gewissen minimalen Menge an nicht schädlich, sondern förderlich wirke, wenigstens für höhere, blattgrünführende Pflanzen ein tatsächlicher Anhalt nicht vorliegt", so wird man doch mit der Ansicht von einer Kupferreizwirkung zurückhaltend sein müssen. Ob es nun angängig wäre, als Folge der ja notorisch sehr stark zusammenballenden Wirkung des Schwermetallsalzes eine Zerstörung etwa in Bildung begriffener

[1]) Man hat nach dieser Richtung hin auch eine Erklärung für die Bildung undurchlassender Schichten auf nassem Neubruchlande zu geben versucht. Hann. Land- u. Forstw. Ztg. **33**, 185 (1880). Vgl. auch die Angaben über Raseneisenstein oben.

[2]) Nach mündlichen Mitteilungen von Geheimrat C. von Seelhorst. Neuerdings wird in Neuhammerstein regelmäßig zu Pferdebohnen auf Niederungsmoor mit Kupfervitriol gedüngt. Vgl. W. Freckmann und Sobotta, Landwirtschaftl. Jahrbücher, **46**, 306 (1914); W. Freckmann, Mittlg. Ver. Foerd. Moorkult. **34**, 245 und 261 (1916).

[3]) R. Ewert, Landw. Jahrb. **34**, 300—301 (1905).

[4]) R. Aderhold, Jahresber. Verein. angew. Botan. (1903) 36.

Zwischenschichten nach Art der vorbehandelten anzunehmen sei dahingestellt. Ebenso, ob die Moorsubstanz durch Basenaustausch und wahrscheinlich gleichzeitig durch von dem Kupfersalz bedingte Oberflächenverkleinerung etwa vorher gebundene Pflanzennährstoffe frei werden läßt und den Pflanzen zur Verfügung stellt.

Eine Klärung der sonderbaren Kupferwirkung ist jedenfalls noch nicht in wünschenswertem Maße erfolgt.

Daß beim Mischen von Moorboden mit Sand, das ja auch für die Sanddeckkultur oft in geringem Umfange und unbeabsichtigt vorkommt, auch abgesehen von den oben besprochenen Wirkungen, Einflüsse auf die Humuskolloide des Moores ausgeübt werden, erhellt schon aus früher gemachten Hinweisen. Es wird z. B. eine Ausfällung von Humuskolloid in Betracht kommen. Unter anderen sei hier auf Untersuchungen von S. Krawkow verwiesen, nach denen Erdboden, durch den ein Auszug von vermodernden Blätter gesickert war, etwa ein Drittel der von ihm aufgenommenen Humusstoffe derart festhielt, daß sie durch Wasser nicht mehr ausgewaschen werden konnten.[1] Auch auf Sanddeckkulturen mag in Wasser gelöste Humussubstanz sich an einem Teil der Sandkörner niederschlagen[2] und so diesen bessere Fähigkeit zur Krümelbildung geben,[3] wenngleich hier die Wahrscheinlichkeit gering ist, daß sich derartige Überzüge in stärkerem Maße bilden. Anders bei der Sandmischkultur. Daß bei dieser die Oberkrume, besonders wenn nicht gerade grobkörniger Sand zum Mischen mit dem Moorboden verwendet wurde, unter Umständen eine ziemlich bindige Beschaffenheit erhalten kann, geht aus Mitteilungen von G. Berendt[4] über den Einfluß auch geringerer Humusgehalte auf Sand hervor.

5. Bewässerung.

Daß eine Bewässerung durch Überstauen, bei der das ganze benutzte Wasser durch den Boden hindurch Abfluß suchen muß, das Durchschlämmen feiner Bodenteilchen, der Bodenkolloide im weiteren Sinne, stark fördern kann, ist einleuchtend. Außerdem wird sich aus dem in

[1]) S. Krawkow, Journ. Landw. **53**, 287 (1905).

[2]) Vgl. dazu z. B. A. D. Hall, Trans. Chem. Soc. **85**, 950 (1904).

[3]) Angaben von H. von Post, zit. bei E. Ramann, Forsch. Geb. Agrikulturphysik **11**, 322 (1888), könnten hierzu herangezogen werden; ferner auch J. Dumont, Compt. rend. **140**, 111 (1905); **142**, 345 (1906); **149**, 1087 (1909); **153**, 889 (1911).

[4]) G. Berendt, Umgeg. v. Berlin, I. Nordwesten. Abhandl. geolog. Spezialkarte Preußen **2**, Heft 3, 51 (1877).

einen von Erdwällen umgebenen Raum eingelassenen Wasser der in ihm fein verteilte Schlamm allmählich niedersetzen, einerlei, ob er in dem Wasser ursprünglich vorhanden war oder bei seinem Einlassen in das umwallte Feldstück erst vom Boden aufgewirbelt wurde.

So tritt erstens als Folge häufig wiederholter Überstauung oder zum Teil auch anderweitiger Bewässerung ein erhöhtes Durchschlämmen auf. E.W. Hilgard spricht direkt von „irrigationhardpan", von Bewässerungsortstein, wenn wir so sagen dürfen.[1] Zweitens findet sich nach Einsinken des Wassers eine Krusten- oder Hautbildung auf der Oberfläche des Bodens. Kein Wunder, daß bei der amerikanischen Bewässerungswirtschaft als Nachteil der Überstauung die Verschlämmung des Bodens genannt wird.[2] Sie muß um so stärker auftreten, je elektrolytärmer, also je weicher das benutzte Wasser ist.

Auch die deutschen Rieselfelder der großen Städte arbeiten zum guten Teil mit Überstauung der Feldstücke durch die Spüljauche, die ja gerade zu ihrer Reinigung durch den Boden hindurchfiltrieren soll. Die Bildung einer Haut über die Oberfläche hin tritt hier um so merkbarer auf, als die in der Spüljauche enthaltenen feineren Sinkstoffe, Papier und allerlei Ähnliches, stark dazu beitragen.[3] Es kommt so dazu, daß auf dem Lande nach der Überstauung eine an Kolloiden aller Art reiche Schicht zurückbleibt, die dann zu einer papierartigen, kaum millimeterdicken Haut eintrocknet.[4] Zwar schrumpft sie, ihren Kolloideigenschaften entsprechend, beim Trocknen, und zerreißt demnach, auch wölben sich die Ränder der Stücke auf und blättern ab. Trotzdem bleibt sie eine für Wasser recht langsam durchdringliche Decke, die Luft und Licht nahezu völlig abschließt und daher mit großen Kosten möglichst weitgehend entfernt werden muß, wenn man sie nicht unterbringen kann, weil das Land bereits Pflanzen trägt. So ist es bei den Gras tragenden Flächen, den „Rieselwiesen", der Fall.[5]

Indessen auch das Unterbringen dieser getrockneten oder halbgetrockneten Schlickmassen hat seine Nachteile. Der Schlick enthält, seiner Entstehung nach, in der Regel nicht ganz unbeträchtliche Mengen

[1] E. W. Hilgard, Soils (Neuyork 1906) 239, Fig. 43, 241.

[2] G. Plehn, Abhandl. Hamb. Kolonialinstit. **4**, 55 (1911).

[3] Vgl. dazu auch Alex. Müller, Landw. Zentralbl. f. Deutschl. **22**, 667 (1874).

[4] Eine ähnliche Erscheinung, nur viel unbedeutender und weniger schädlich, auch ganz anderer Herkunft, ist das sog. „Wiesen-" oder „Meteorpapier". Vgl. z. B. H. von Post, Landw. Jahrb. **17**, 407 (1888).

[5] P. Ehrenberg, Zeitschr. f. Pflanzenkrankh. **16**, 200 (1906).

von Fett, die eine schnelle Zersetzung verzögern. Außerdem bringt er erhebliche Massen von Zellstoff in den Boden.

Dieser kann zunächst vielleicht auf die bakterielle Festlegung und auch auf die Zersetzung von Stickstoffverbindungen hinwirken und dadurch die Pflanzen beeinträchtigen; doch ist das für unsere Zwecke hier ohne Bedeutung. Dagegen trocknet der Schlick an der Bodenoberfläche oder auch bei Trockenheit im Acker zu zähen Blättern und Klumpen zusammen, die dann Wasser nur recht schwer wieder aufnehmen. Wahrscheinlich adsorbieren die im Schlick enthaltenen Kolloide beim Austrocknen Luft und werden dann, wie oben eingehend besprochen, schwer benetzbar. Auch der Fettgehalt mag hierbei eine Rolle spielen. Daß solche Stoffe in größeren, wenig zerteilten Massen dann für den Wasserhaushalt und die Wasserbewegung im Boden recht hemmend wirken müssen, bedarf keiner weiteren Erhärtung. Es konnte seinerzeit von mir zum Beispiel bei mit Schlick versehenem Boden eine Verzögerung der Keimung festgestellt werden,[1]) die wohl nur auf ungünstigere Wasserzufuhr zurückzuführen war. Auch die Beobachtung, daß diese Schlickmassen um so weniger schädlich wirkten, je tiefer sie in den Vegetationsgefäßen untergebracht worden waren,[2]) deutet auf ähnliche Gründe hin, wie sie soeben besprochen wurden. In der Tiefe ist weniger Gelegenheit dafür vorhanden, daß der Schlick trocken wird oder wenigstens so viel Wasser abgibt, daß es zur erheblichen Aufnahme von Luft statt dessen kommt. Dazu mag dort, wo Luft überhaupt weniger Zutritt hat, schneller zu der ja ohne Sauerstoffbedarf verlaufenden Zellstoffzersetzung durch Bakterien und damit zur Beseitigung des Schlicks Gelegenheit sein.

Die Unterbringung von Schlickresten in größere Tiefen, daneben aber auch die Gegenwirkung gegen die Hinabwaschung wird es wohl sein, welche die Tiefkultur als gutes Mittel gegen die Verschlickung des Landes bei Rieselfeldanbau erscheinen läßt.[3]) Die Spüljauche, wie sie in großen Massen auf die Rieselfelder gebracht wird, enthält besonders reichlich Kochsalz,[4]) das u. a. auch auf Auswaschung des Kalkes hinwirken dürfte,[5]) obwohl die Spüljauche auch Kalk enthält. Und wenn der Kalk in den oberen Bodenschichten zum Teil durch das Natron er-

[1]) P. Ehrenberg, ebendort 202.

[2]) Ebendort 201 ff.

[3]) Ebendort 202.

[4]) Vgl. Analysen, u. a. Alex. Müller, Landw. Jahrb. **3**, 261 (1874); R. Klopsch, ebendort **14**, 126 (1885).

[5]) Vgl. auch A. Backhaus, Landw. Vers. Rieselgüt. Berlin 1904 (Berlin 1905), wo sich 114 einige Untersuchungen von mir in dieser Richtung finden.

setzt worden ist,[1]) muß es leichter zur Bildung von Aufschwemmungen bei Regen und zur Hinabwaschung feiner Teilchen kommen. Dazu mag noch in Betracht gezogen werden, daß Schleimstoffe und sonstige organische Massen der Spüljauche gelegentlich wohl als Schutzkolloide wirken und ebenfalls die Hinabwaschung bzw. Bildung von Aufschwemmungen zu fördern vermögen. Jedenfalls klärt sich „verschlickter" Boden in Aufschwemmung nur äußerst langsam, im Gegensatz zu nicht verschlicktem Boden des gleichen Feldes.[2]) Weiter aber wird man auch mit der oben eingehend besprochenen Umsetzung von Kochsalz oder anderen Natriumsalzen gegen sauren kohlensauren Kalk rechnen müssen und dementsprechend mit der Bildung von Soda. Denn Kochsalz kommt in erheblicher Menge durch die Spüljauche in den Boden, Kohlensäure wird dort durch Zersetzungsvorgänge in nicht ganz geringen Mengen entstehen und Kalk führt zum Teil der Boden, zum Teil ist er als Dünger gegeben oder in der Spüljauche enthalten. — Wie weit allerdings eine solche Sodabildung im Boden von Rieselfeldern stattfindet, ist bei der sehr bunten Mannigfaltigkeit der Zusammensetzung der Spüljauche und ihrem häufigen Wechsel, wie auch bei dem Mangel diesbezüglicher eingehender Untersuchungen des Ackerbodens von Rieselfeldern[3]) nicht zu sagen. Mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit, daß dadurch die Hinabwaschung auf Rieselland gefördert wird, darf man aber vorläufig gewiß rechnen. Dagegen wird wieder der Kalkgehalt der Spüljauche zusammenballend und so die Hinabwaschung hemmend wirken.

Bei Bewässerung von Wiesen- und Ackerland durch Überrieselung[4]) mit Wasser wird schon weitaus weniger an stärkere Hinabwaschung feinster Teilchen des Bodens zu denken sein, besonders verhältnismäßig wenig bei Wiesenland, wo der Wurzelfilz die Teilchen gewissermaßen auffängt und auch der Rasen eine stärker lösende Wirkung des Wassers auf die Bodenkrümel ziemlich weitgehend verhindert. Noch weniger wird zumeist

[1]) Ich konnte seinerzeit — am eben angeführten Orte 200 — Hinweise geben die das nicht unwahrscheinlich machen.

[2]) Vgl. meine Beobachtungen bei A. Backhaus, a. a. O.

[3]) Man darf hierfür wohl nur R. Klopsch, Landw. Jahrb. **14**, 142 ff. (1885), und P. Ehrenberg, Zeitschr. Pflanzenkrankh. **16**, 198 ff. (1906), bzw. in der angeführten Arbeit von A. Backhaus, anführen, obwohl nähere Untersuchungen der landwirtschaftlichen Bodenverhältnisse bei Berieselung wohl für die beteiligten Stadtverwaltungen aus eigenem Interesse recht nahe gelegen hätten.

[4]) P. Ehrenberg, Arbeit. Landw.-Kamm. Hannover **32**, 68 (1912).

Hinabwaschung bei Bewässerung durch Bespritzen[1]) in Frage kommen, wenn nur mäßige Wassergaben erfolgen, wie das ja in der Regel zu erwarten sein wird. Daß beim Bespritzen das Versinken des Wassers durch Oberflächenwirkungen verlangsamt werden kann, indem sich aus dem beim feinen Verspritzen mit Luft angereicherten Wasser im Boden das Gas wieder ausscheidet und, die Bodenteilchen überziehend, die Bodenporen verkleinert, wurde bereits oben besprochen. Vielleicht könnte bei reichlicher Düngung in warmen Sommern bei uns als Folge des Bespritzens auch ein Salztransport nach oben sich bemerkbar machen, wie er in ariden Gegenden sehr viel stärker auftreten kann. Dort wird „schnelle" Bewässerung als Hilfsmittel dagegen empfohlen.[2])

B. Bodenbearbeitung.

Nach Würdigung der Einwirkungen von Grundverbesserungen verschiedener Art auf die Kolloide des Bodens kommen die weitaus häufiger in Betracht zu ziehenden und daher auch wichtigeren Einflüsse der Bodenbearbeitung an die Reihe. Es wird sich hierbei vielfach um Maßnahmen handeln, die nur bestimmt sind, Einflüsse von Naturkräften zu steigern, oder dieselben auch verhüten und bekämpfen sollen. Gelegentlich mag es sich finden, daß besondere Einwirkungen in Betracht kommen. Als wichtigste Form der Bodenbearbeitung werden wir zunächst die durch den Pflug eingehend besprechen.

1. Pflugarbeit.

a) Lockernde Wirkung.

Auch der Pflug ist nicht immer das gewesen, was wir heute darunter verstehen, wo er gewissermaßen als Hobel[3]) arbeitet, und wir haben es nur nötig, in älteren landwirtschaftlichen Werken zu blättern, um zu erfahren, daß in früheren Zeiten die wendende Tätigkeit des Pfluges weitaus gegenüber der nur lockernden zurücktrat. Noch gibt es in unserem Vaterland Gegenden, in denen die alten, hakenartigen Pflüge in Benutzung sind, wenngleich sie wohl immer mehr verschwinden. Aber in der Hand des geschickten Arbeiters waren

[1]) Ebendort 68—69.
[2]) N. Tulaikow, Journ. exp. Ldw. 6, 677 (1905).
[3]) J. Rezek, Mittlg. Technol. Gewerbemuseums Wien, Heft 7/8, Sonderdruck (1896) 3.

auch sie schon mehr und mehr zur Wendung des Bodens geeignet geworden, ohne zumeist freilich ähnliches zu erreichen, wie der heutige Pflug. Es wird erforderlich sein, auch später gelegentlich an diese Verhältnisse zu denken.[1])

Berücksichtigen wir zunächst ausschließlich die lockernde Tätigkeit des Pfluges, die unzweifelhaft seine ursprüngliche Aufgabe darstellt, so wird in ihr und ihrem Einfluß auf die Bodenkolloide ein wichtiges Hilfsmittel für die Herbeiführung gewisser Bodenzustände zu erblicken sein die auf das engste mit Veränderungen des Kolloidzustandes im Boden zusammenhängen.

Durch die Lockerung des Bodens wird Gelegenheit zur Austrocknung seiner mehr in den oberen Schichten liegenden Bestandteile geboten. Es kommt hierbei hinzu, daß mit der Lockerung in der Regel eine Vergrößerung der freier Luft und ihrer Bewegung zugänglichen oberen Fläche des Feldes vereint ist. So steigt die Verdunstung. Da weiter durch die Lockerung an Stelle der vorher feinen, Kapillarwasser zurückhaltenden Bodenporen in weitem Umfange Hohlräume größerer Art im Boden entstehen, die Wasser nur noch unbedeutend festhalten, dafür aber der Luft weitgehenden Zutritt gestatten, so ist die Folge der Lockerung eine gesteigerte Austrocknung, um so mehr, als durch die Lockerung gleichzeitig die kapillare Nachlieferung von Wasser aus tieferen Bodenschichten beschränkt wird. Denn es sind eben vielfach größere Hohlräume im Boden entstanden, welche die kapillare Hebung hemmen. Dazu kommt dann endlich, daß der gelockerte Boden auch zum Teil bessere Bestrahlungsmöglichkeiten durch die Sonne besitzt. Tritt aber Regen ein, so kann das Wasser schneller durch die größeren Hohlräume des gelockerten Bodens nach unten abgegeben werden, es bleibt nicht auf demselben stehen und weicht ihn auf.

Daß und welche Veränderungen der Bodenkolloide sich an das Austrocknen anschließen, ist bereits behandelt. Zusammenfassend müssen wir betonen, daß dadurch, und damit auch durch die Lockerungswirkung des Pfluges, die Ausflockung der Bodenkolloide im weiteren Sinne gefördert wird.

[1]) Daß außer den beiden erwähnten auch noch andere Seiten der Tätigkeit des Pfluges in Betracht kommen und hier auch gelegentlich Beachtung finden werden, sei beiläufig erwähnt. So die mischende Wirkung, dann die trennende oder schälende; wohl auch gelegentlich eine gewisse Zusammenpressung des unter der Furche verbleibenden Bodens, wie auch eine Vergrößerung der Oberfläche des Feldes durch Bildung erhöhter und vertiefter Streifen, usw. —

b) Pflugsohle.

aa) Bildung.

Doch hat die Lockerung noch andere Folgen. Auf den fest gelagerten Boden niederströmender Regen wird ihn aufweichen, aber mechanisch wenig an der ebenen, eng gelagerten Fläche ausrichten. Und das in die Tiefe versinkende Regenwasser muß die feinen Bodenteilchen, die es etwa zunächst mit sich nehmen konnte, in der dicht zusammen gelagerten Bodenschicht bald wieder zurücklassen, zumal wenn der Boden nicht etwa aus gröberen Sandteilen besteht und feiner Bestandteile weitgehend ermangelt.

Sobald aber durch den Pflug die Bodenkrume gelockert ist, findet das im Regen herabkommende Wasser bald hier, bald da Gelegenheit, Bodenstückchen mit sich zu reißen, sie zu zerbrechen und ihren Zusammenhang zu zerstören. Der lockere Boden gibt viel eher dem mechanischen Aufprall der Tropfen nach, wenn er freilich auch nicht so leicht wie ungelockerter völlig aufgerührt werden kann, da das Wasser in ihm so viel schneller versinkt. Jedenfalls wird aber das hinabsickernde Wasser die feinen Bodenteilchen, die es mit sich zu reißen vermochte, zunächst nicht so leicht wieder absetzen, da in dem gelockerten Boden ja verhältnismäßig weite Räume zur Tiefe hinabführen. So ist zu erwarten, daß erst tiefer, und besonders dort, wo die Lockerung des Bodens ihr Ende gefunden hat, auf dem Grunde der Pflugfurche, die dichteren Erdschichten, die sich nun dem Lauf des Wassers entgegenstellen, die von ihm mitgeführten feinen Bodenteilchen festhalten. Bis der Boden sich nach der Lockerung durch den Pflug wieder mit Pflanzenwuchs überzogen hat — sei dieser nun durch angebaute Kulturpflanzen gebildet oder durch wilde Vegetation — und so durch ihn vor dem direkten Aufprall des Regens geschützt wird, oder bis die oberen Bodenschichten sich wieder so verfestigt haben, daß der Regen kaum in kürzerer Zeit noch erhebliche Mengen von feinen Bodenteilchen in die Tiefe waschen kann, wird jedesmal einige Zeit vergehen. In ihr wird auf dem gelockerten Acker die Durchschlämmung um so stärker vor sich gehen, je weniger durch Salze und anderweit die Aufschwemmungen feinster Bodenteilchen zusammengeballt werden, und je mehr nach alter, fehlerhafter Weise der Acker bis zu größerer Tiefe gepulvert wurde.[1]) Es wird also eine ständige Wanderung der feinen Teile in die Tiefe hinab stattfinden. Beschränkt sich der Pflug, wie das bei der früheren primitiven Pflug-

[1]) Vgl. A. v. Rosenberg-Lipinsky, Prakt. Ackerbau **2**, 205 (Breslau 1890).

kultur wohl sehr häufig der Fall war, nun mehr auf die Lockerung des Bodens, ohne nennenswert wendend zu wirken, so tritt keine Unterbrechung dieser Hinabwanderung ein. Es muß demnach zu einer Anreicherung des Bodens mit feinen Teilchen kommen, wo der mangelnden Lockerung halber ein weiteres Durchschlämmen wesentlich zurücktritt, also dort, wo die vom Pfluge erfaßte Krume aufhört. Dazu kommt noch, daß durch den Tritt des Zugtieres, der sich bei jedem Pflügen wiederholt, der Grund der Pflugfurche in geringem Maße zusammengedrückt und verfestigt werden muß. Auch wird der Pflug selbst je nach seiner Bauart in größerem oder minderem Umfange die Fläche am Grund der Furche, über die er hinweggleitet, teils zusammendrücken, teils bei schlechtem Wetter auch verschmieren.[1])

So wird aus diesen verschiedenen Gründen den mit dem Wasser hinabsinkenden Bodenteilchen besonders hier Gelegenheit geboten, zum großen Teil fest hängen zu bleiben, wie ein Filter im Wasser aufgeschwemmte Stoffe aufhält. Und jedes haftenbleibende Bodenteilchen verengt wieder die vorhandenen Poren im Boden und bedingt, daß neuen Ankömmlingen noch weniger Gelegenheit gegeben ist, an dieser Grenze vorbei zu passieren.

Wir müssen nun bedenken, daß diese Verhältnisse und Gelegenheiten sich lange Jahrhunderte hindurch in unserm deutschen Ackerboden vorfanden. Zwar werden Pflanzenwurzeln, die später verwesten, die Gänge von Bodentieren, auch gelegentliche tiefere Lockerung durch einen in abweichender Weise geführten Pflug der Ansammlung einer größeren Menge feiner Bodenteilchen entgegengewirkt haben, aber nur in beschränktem Maße. Im Laufe der Zeit ist es bei Benutzung lediglich lockernder, nicht wendender Pflugarbeit gar nicht zu vermeiden, daß die hinabgewaschenen Bodenteilchen an und in der Grenze der Pflugkrume[2]) sich ansammeln und hier eine verdichtete Schicht bilden.

Freilich haben ja auch die mangelhaften Pflüge zumeist neben der lockernden noch eine wendende Tätigkeit ausgeübt, zum mindesten in beschränktem Maße. Das hat aber nicht hindern können, daß die verdichtete Schicht am Grunde der Furche früher unter dem Namen „Pflugsohle" von sich reden machte.

Daß es unter Umständen sogar ziemlich schnell zur Bildung einer

[1]) F. Haberland, Wissensch. prakt. Unters. Pflanzenb. 1, 22 (Wien 1875).
[2]) Daß hier auch für die Wasserbewegung im Boden besondere Verhältnisse eintreten, nimmt O. Pitsch an. Theorie d. Bodenbearb. (Dresden 1884) 95.

solchen Pflugsohle kommen kann — natürlich nur unter besonders dafür günstigen Bedingungen —, scheint aus Angaben von I. P. Roberts[1]) hervorzugehen. Dieser sagt: „Wenn man für die verschiedenen Jahreszeiten fortgesetzt auf die gleiche Tiefe pflügt,[2]) so verfestigen der Druck des Geräts und der Tritt der Pferde allmählich den Boden der Furche." — Daß weniger einer dieser Umstände als vielmehr die Durchschlämmung der feinen Teilchen sehr wahrscheinlich hierbei besonders wichtig ist, haben wir bereits erfahren.

bb) Vorkommen.

Nach Lage der Dinge ist es vorauszusehen, daß die Pflugsohle bei sehr leichten, groben Böden nicht in Betracht kommen wird. Hier sind die feinen Teilchen, die das nötige Material zur Pflugsohle zu liefern vermöchten, nicht gerade in großer Menge vorhanden, auch bieten die Bodenporen wohl noch im Untergrunde Raum genug, daß diese Teilchen weiter in die Tiefe auch des ungelockerten Bodens geführt werden können. Bei sehr schweren Böden kann es auch unter Umständen schon in der Krume zu einer Festhaltung hinabsinkender, feiner Teilchen kommen, obwohl hier ein Versinken bis zur Grenze der bearbeiteten Bodenschicht vielleicht sogar häufig möglich erscheint. Wenigstens gibt E. W. Hilgard an, daß man die Pflugsohle am leichtesten auf tonigem Boden finde.[3]) Besondere Gelegenheit zur Bildung von Pflugsohlen dürften aber besonders lehmige Sandböden, wo E. Ramann sie beobachtete,[4]) humose, schwach saure Sandböden, wo sie von Th. Mayer festgestellt wurden,[5]) vielleicht noch Staubböden geben. Doch mag auch der Lehmboden nicht verschont bleiben.

Es wurde bereits erwähnt, daß mangelhafte, wenig oder gar nicht wendende Pflugarbeit auf Bildung von Pflugsohlen hinarbeiten muß. Man möge bezüglich der Wirkung der Wendung der Furche auch auf das oben Gesagte[6]) zurückgreifen. Daher wird die alte Zeit der jahrhunderte-

[1]) I. P. Roberts, Fertility of the land, zit. bei H. Snyder, Soils and Fertilizers, 3. Aufl. (Neuyork 1911) 43.

[2]) E. W. Hilgard, Soils (Neuyork 1906) 186, spricht davon, daß sich „sehr allgemein" eine solche feste Schicht bei Ausübung des Pflügens auf gleiche Tiefe während längerer Jahre bilde. Auch im Verein mit Bewässerung findet sich solche Pflugsohle, vgl. E. W. Hilgard, a. a. O. 241.

[3]) Vgl. E. W. Hilgard, Soils (Neuyork 1906) 186.

[4]) Nach brieflicher Mitteilung.

[5]) Im sog. „Eschlande" in der Provinz Hannover, nach mündlicher Angabe. Weitere Untersuchungen, für welche bereits Probenahme u. dgl. stattgefunden hatte, sind durch den Krieg auf unbestimmte Zeit hinausgeschoben worden.

[6]) Siehe 187 u. f.

lang sich gleich bleibenden Landwirtschaft im Mittelalter und bis zum 18. Jahrhundert um so mehr für das Auftreten der Pflugsohle in Betracht gekommen sein, als auch die angebauten Feldfrüchte sehr wesentlich die gleichen waren und Tiefwurzler in der Regel nicht auf den Acker kamen. So vermochten weder die Wurzeln der Pflanzen selbst gegen die Bildung von Pflugsohlen zu wirken, noch war Ursache zu tieferer Pflugkultur vorhanden, und damit die Beseitigung der Bodenverhärtung angebahnt.

cc) Verschwinden.

Als dann die Landwirtschaft des letzten Jahrhunderts mit ihrem Anbau von tief wurzelnden Pflanzen, mit ihren verbesserten, gut wendenden Pflugarten und mit ihrer tieferen Kultur und Dränage einsetzte, müssen die Pflugsohlen naturgemäß mehr und mehr verschwunden sein. Sie wurden erfaßt, empor gebracht und vergingen in den oberen Bodenschichten um so mehr, als sie häufig wohl nicht durch besondere Bindemittel verkittet waren. Nur auf wenig durchlüfteten, nassen Böden möchte es gelegentlich zur Bildung von Eisenhydroxydschichten gekommen sein, wo aus dem schlecht durchlüfteten Untergrund eisenoxydulhaltiges Wasser austrat und sich unter dem Einfluß der aus dem gelockerten Boden hinzutretenden Luft am Grunde der Furche oxydierte. Auch dort, wo der Boden durch Kalkmangel und Anreicherung mit Humus schwach sauere Reaktion[1]) aufwies, mag der Vorgang der Ortsteinbildung auf dem Grunde der Furche andeutungsweise aufgetreten sein und so die Pflugsohle verstärkt haben.[2])

So sind heutigentags Pflugsohlen nur noch dort zu beobachten, wo entweder die Verhältnisse für ihre Entstehung so günstig liegen, daß sie auch in kürzeren Fristen erscheinen können — was wohl selten der Fall sein wird — oder wo noch primitive Ackerwirtschaft sich erhalten hat. Man kann sich oberflächlich von ihrem Vorhandensein unterrichten, wenn man durch Erdsonde oder Bohrstock den Widerstand ermittelt, der sich dem Eindringen in den Boden entgegenstellt. Nach E. Ramann muß man wenigstens bei leichteren Böden die Prüfung in trockener Zeit durchführen, da der Widerstand in durchfeuchteten Böden nicht zu beobachten ist. Übermäßig leicht dürfte die Beobachtung der Pflug-

[1]) Solche sauren Sandböden sind noch heute ziemlich viel zu finden und waren früher, als Mergel und Kalk noch wenig benutzt wurden, wohl noch viel häufiger.

[2]) E. Ramann nimmt auch die Möglichkeit einer Verkittung der Pflugsohle durch organische Stoffe an. (Briefliche Mitteilung.)

sohle demnach nicht sein, und wer sie nicht sucht, wird sie nur in besonderen Fällen erkennen und finden. Gelegentlich mag dort, wo von dem „scharfen Sichabheben“ der alten Ackerkrume von dem Untergrund die Rede ist,[1] eine Pflugsohle vorhanden gewesen, aber nicht festgestellt worden sein.

dd) Heutige Bedeutung.

Wenn heute auch durch die stärkere Anwendung von Kalk und seine vermehrte Lösung im Boden durch von Dünger und Pflanzen hervorgebrachte Kohlensäure, wie durch Wechselwirkung anderer Düngemittel die Flockenbildung aus Aufschwemmungen im Ackerboden stark begünstigt werden muß, so üben doch wieder andere Umstände auf die Bodenkolloide einen entgegengesetzten Einfluß aus. Der Chilesalpeter[2], aber gelegentlich auch die Kalisalze werden durch die alkalische Reaktion, die sie im Boden hervorzurufen vermögen, wieder umgekehrt auf Bildung und Bestehen von Aufschwemmungen hinwirken, zum Teil namentlich in der kühlen Jahreszeit, in der das Pflanzenwachstum zurücktritt. Auch auf die Sodabildung durch Umsetzung von Alkalisalzen mit kohlensaurem Kalk bei Gegenwart von Kohlensäure im Boden ist oben hingewiesen worden. Ganz besonders wird eine schädigende Durchschlämmung aber in Frage kommen, wenn reichliche Humusstoffe des Bodens noch ihre Schutzwirkung hinzutreten lassen. So ist auch im Acker des heutigen Landwirts das Durchschlämmen ein durchaus wahrscheinlicher Vorgang, und zwar um so mehr, je weniger blattreiche Pflanzen den Boden vor Regen schützen. Daher darf die wendende Tätigkeit des Pfluges, die immer wieder[3] die in tiefere Bodenschichten entweichenden feinen Bodenteilchen auffängt und nach oben bringt, vom Landwirt ja nicht unterschätzt werden. Und ebenso muß als Nutzen der zeitweisen Tiefkultur, wie sie besonders der Rübenbau mit sich bringt, die Vernichtung und Beseitigung sich etwa bildender Ansätze zur Pflugsohlenbildung beachtet werden. Ebenso wie ein Untergrundpflug, freilich nicht in ebenso gründlicher Weise, auch in dieser Richtung Nutzen schafft.

Es ist mir zum mindesten wahrscheinlich, daß die so großen Erfolge, welche die tiefere Kultur auf den heimischen Böden vielfach zu erzielen

[1]) Vgl. Angaben R. Alberts, Zeitschr. Forst- u. Jagdwes., **39**, 297 (1909); **44**, 656 (1912).

[2]) Vgl. z. B. J. G. Maschhaupt, Onderzoek naar Veranderungen in Bouwgrund, Sonderdr. aus: Verslagen d. Rykslandbouwproefstations (1912).

[3]) Vgl. oben 187 u. f.

vermochte, wenigstens zu einem gewissen Teile auch der Zerstörung vorhandener Pflugsohlen und dem Entgegenarbeiten gegen die Hinabschlämmung feinster Bodenteilchen zu danken sind.

Ob nicht vielleicht dort, wo starke Chilesalpeterverwendung und andere ungünstige Bedingungen für das Bodengefüge sich vereinen, auch unter den jetzigen Verhältnissen sich wieder Pflugsohlen oder ähnliche Bodenverdichtungen in den tieferen, vom Pfluge nicht mehr erreichten Schichten bilden können, sei dahingestellt. Die Dränage wird ihnen wohl auch etwas entgegenarbeiten. Gelegentliche Aufmerksamkeit auf derartige Fragen wird bei Böden, die wider Erwarten mangelhaftes Pflanzenwachstum zeigen, immer einmal nützlich sein können. Daß auch heutigentags noch das Durchschlämmen auf unseren Äckern Bedeutung genug besitzen kann, beweist, von dem schon Gesagten abgesehen, die Feststellung A. D. Halls, der im Boden des Broadbalkfeldes in Rothamsted, für den mit Vollbrache behandelten Boden folgenden Gehalt an Tonteilchen unter 0,002 mm Durchmesser nachwies:[1]) für die ersten 9 Zoll 17,6%, für die zweiten 9 Zoll 28,7%, für die dritten 9 Zoll 40,0%.

c) Waldwachstum auf Ackerland.

Noch auf einen Umstand ist hier zu verweisen, für den gelegentlich und wohl auch mit Recht das Vorhandensein einer Pflugsohle auf Ackerland haftbar gemacht worden ist:[2]) das schlechte Fortkommen von neu angepflanztem Wald auf altem Ackerboden.[3])

Da man zumeist den für Ackerkultur schlechte Ergebnisse bringenden Boden dem Wald eingeräumt haben wird — gelegentlich sind freilich auch aus besonderen Gründen gute Felder wieder aufgeforstet worden —, so ist es in früheren Zeiten, als eben Pflugsohlenbildungen wohl häufiger

[1]) A. D. Hall, Book Rothamst. Exp. (London 1905) 26.

[2]) R. Hartig, Allg. Forst- u. Jagdztg. **64**, 118 (1888): „In unsern Waldbeständen tritt diese Krankheit (Absterben) in geradezu verheerender Weise auf, und zwar etwa im 30. Lebensjahre, wenn nämlich mit der Herstellung einer dichten Bodendecke und eines dichten Kronenschlusses der Luftwechsel in tiefen Bodenschichten so vermindert wird, daß unter gewissen Umständen die Wurzeln ersticken. Das ist z. B. vielfach der Fall auf früheren Ackerböden, wo die sog. Ackersohle (Pflugsohle) eine durch Auswaschen der oberen Ackerkrume verdichtete Beschaffenheit bekommen hat. Dasselbe tritt ein auf schweren, frischen Lehmböden oder sehr feinkörnigen Sandböden . . ."

[3]) K. Fricke, Zeitschr. Forst- u. Jagdwes. **42**, 259 (1910); und viele andere forstliche Schriftsteller.

vorkamen, ganz wahrscheinlich gewesen, daß solche in dem neu aufgeforsteten Walde eine Rolle spielten. Es ist aber durchaus nicht notwendig, daß stets und immer Pflugsohlen im alten Ackerboden vorhanden waren, auch können sie bei der Vorbereitung des Landes für die Waldkultur gebrochen und zerstört worden sein. Daher kann man nachgewiesenermaßen gutes Wachstum von Wald auf dem alten Ackerboden einer Gegend[1]) durchaus nicht als Beweis dagegen anführen, daß an anderem Orte eine vorhandene Pflugsohle die gedeihliche Entwicklung hemmt.

Es kann keinem Zweifel unterliegen,[2]) daß auf Ackerland, das zur Aufforstung verwendet worden ist, nicht nur die als Untergrundbildung bekannte Verdichtung der tieferen Bodenschichten durch Durchschlämmen vorhanden sein wird, die auf ganz altem Waldboden wegen des weitgehenden Schutzes vor dem Regenschlag und aus anderen Gründen wohl weniger deutlich auftritt, sondern daß auch Pflugsohlen nichts Ungewöhnliches sein können. Denn man muß bedenken, daß in den letzten Jahren vor dem Übergang zur Waldkultur die Ackerwirtschaft nachlässiger betrieben werden dürfte, als sonst. Ist nun nicht, wie das R. H. Splettstößer sicher mit gutem Grund empfiehlt,[3]) der alte Ackerboden zur Kiefernkultur[4]) durch das sog. Doppelpflügen oder jedenfalls tiefes Pflügen gut vorbereitet worden, so wird die Pflugsohle die jungen Waldbäume hindern, ihre Wurzeln in die Tiefe zu entsenden[5]) und dieselben auf die alte Ackerkrume beschränken. Oder nur die kräftige Pfahlwurzel vermag in die Tiefe zu gelangen, ohne hier aber, was Durchlüftung und ähnliche Momente anbetrifft, so günstige Verhältnisse zu finden, daß sie ausreichend Nebenwurzeln bilden, überhaupt sich gut fortentwickeln könnte.[6]) Sowohl

[1]) Vgl. dazu auch Zeitschr. Forst- u. Jagdwes. **42**, 264 (1910). Entgegengesetzte Behauptungen, ebendort **39**, 365 (1907), wären also einzuschränken.

[2]) Vgl. auch noch Zeitschr. Forst- u. Jagdwes. **40**, 690 (1908).

[3]) R. H. Splettstößer, Zeitschr. Forst- u. Jagdwes. **40**, 689 (1908).

[4]) Es kann auch natürlich irgendein anderer Waldbaum in Frage kommen, wenn er nicht, wie die Eiche, verdichtete Bodenschichten einigermaßen zu durchdringen vermag. Auch die Fichte scheint gegen solche Bodenverdichtungen nicht so empfindlich zu sein wie etwa die Kiefer. C. Emeis berichtet, daß sie auf altem Ackerlande die Kiefer weit übertraf. Waldbauliche Forschungen und Betrachtungen (Berlin 1875) 127. Vielleicht ist auch C. Frömbling, Zeitschr. Forst- u. Jagdwes. **38**, 176 (1906), zu beachten. Man vgl. noch R. Albert, Zeitschr. Forst- u. Jagdwes. **39**, 289 (1907).

[5]) Man möchte in dieser Richtung auch mit Nutzen Ausführungen von E. Wollny vergleichen. Zersetz. organ. Stoffe (Heidelberg 1897) 199.

[6]) Vgl. R. Albert, Zeitschr. Forst- u. Jagdwes. **39**, 360 ff. (1907).

Nährstoffaufnahme wie Wasserhaushalt[1]) werden dadurch weitgehend beeinflußt werden. Ob die in derartigen Fällen nicht selten auftretenden Pilzkrankheiten dann nicht erst dadurch zur weiten Ausbreitung und zur vernichtenden Wirkung kommen, daß sie es mit in ihrer Entwicklung geschwächten Bäumen zu tun haben, wäre noch festzustellen, erscheint aber nicht so sehr unwahrscheinlich.[2]) — Allerdings soll keineswegs behauptet werden, daß nun all und jedes Absterben von Bäumen auf altem Ackerlande das Anzeichen vorhandener Pflugsohlen sein müsse. —

Es kommt noch hinzu, daß frisch aufgeforstetes Ackerland sehr wahrscheinlich im ersten Jahr und vielleicht auch noch länger besonders stark der Durchschlämmung ausgesetzt sein wird, da es einen Schutz vor dem Regenfalle so gut wie gar nicht genießt, während doch die Tätigkeit des Pfluges auch aufgehört hat. Es wird hierbei eine etwa vorhandene Pflugsohle noch verstärkt werden. Gelegentlich könnte ein schwererer Boden eher als leichter Sand die Bildung einer Pflugsohle veranlaßt haben, weil in dem Sande die hinabgewaschenen Teilchen noch tiefer versanken.[3])

E. Ramann vermochte auf aufgeforstetem leichten Ackerboden nach vier bis fünf Jahren die vorher beobachtete Pflugsohle nicht mehr festzustellen. Eingehende Untersuchungen sind jedoch nicht ausgeführt worden,[4]) und es kann die oben erwähnte Wirkung größerer Feuchtigkeit des Bodens die Feststellung leicht unsicher gemacht haben. Jedenfalls ist es nicht als wahrscheinlich anzusehen, daß eine durch Hinabschlämmen feinster Bodenteilchen oder ähnliche Ursachen entstandene Pflugsohle in wenigen Jahren durch die Wirkung der Forstkultur verschwinden sollte. Im Gegenteil besteht alle Ursache für die Annahme, daß solche Schädigungen sich unter Umständen lange Zeit erhalten und sogar noch die zweite Baumgeneration im Wachstum beeinträchtigen können. Darauf weisen R. Alberts Untersuchungen hin.[5]) — Zum Schluß sei noch darauf aufmerksam gemacht, daß allerdings von mancher Seite auch physikalische

[1]) Auch eine weitgehende Austrocknung der oberen Schichten des Bodens im Sommer ließe sich wohl mit dem Vorhandensein der Pflugsohle in Verbindung bringen. Es sei hierzu weiter auf Untersuchungsergebnisse R. Alberts verwiesen, Zeitschr. Forst- u. Jagdwes. **39**, 361 (1907); **44**, 230, 663 (1912).

[2]) Vgl. R. Albert, a. a. O. 363.

[3]) Angaben von R. Albert könnten vielleicht so erklärt werden, a. a. O. 289.

[4]) Nach brieflicher Mitteilung.

[5]) R. Albert, Zeitschr. Forst- u. Jagdwes. **39**, 297, 299 (1907).

Schädigungen des Bodens nach Art der soeben besprochenen als Ursache für schlechtes Wachstum von Wald auf altem Ackerland[1]) geleugnet werden.[2]) Meines Erachtens nicht mit Recht.

d) Frost- und Windeinflüsse auf gelockerten Boden.

Auch noch anderweit vermag die lockernde Wirkung des Pfluges für die Bodenkolloide von Bedeutung zu sein. So bei der Öffnung des Landes für die Wirkung des Frostes. Wir haben bereits gehört, daß das vor Winter aufgelockerte Land mehr Wasser aufzusaugen vermag, als

---

[1]) Man darf bei Besprechung der Einflüsse vorangehenden Ackerbaues auf die spätere Waldentwicklung nicht an den sehr sorgfältigen und umfassenden Versuchen R. Alberts vorübergehen, die in der Zeitschr. Forst- u. Jagdwes. **39**, 283 u. 353 (1907), sowie **44**, 2 und an späteren Stellen (1912) enthalten sind. Daß in sehr vielen Fällen bei solchem Absterben der Bäume, besonders der Kiefer, auf altem Ackerland dieses sich als erheblich dichter gelagert erweist als ähnlicher, stets mit Wald bedeckt gewesener Boden, darf man wohl aus den dort angeführten Untersuchungswerten entnehmen. A. a. O. **39**, 293 u. 296. Dies würde ja auch zu den hier von mir vertretenen Ansichten passen. Genauere Ergebnisse dürften aber aus den erwähnten Untersuchungen, soweit sie mit physikalischer Bodenuntersuchung arbeiten, leider nicht zu erwarten sein. Denn einmal ist die Porenvolumbestimmung nach E. Ramann, die R. Albert zuerst benutzte, vgl. a. a. O. **39**, 287 (1907), nach R. Alberts eigenen Erfahrungen von Zufälligkeiten derart abhängig, daß man stets eine größere Anzahl von Parallelbestimmungen heranzuziehen genötigt ist (vgl. am gleichen Ort). R. Albert hat später dafür Beispiele angeführt, a. a. O. **44**, 9 (1912), und aus ihnen kann man ohne Mühe ersehen, daß das erwähnte Verfahren, wenn überhaupt, nur mit Hilfe der Berechnung der ihm anhaftenden Fehler und Schwankungen nach der Ausgleichsrechnung benutzbare Ergebnisse zu bringen vermag. Ein einfaches Heranziehen des Mittels, wie dies in den hier in Frage stehenden Abhandlungen durchweg geschehen ist, bietet keinerlei Gewißheit dafür, daß der so gefundene Wert mit Recht benutzt werden darf. Daß weiter R. Albert nicht nach Pflugsohlenbildungen Umschau gehalten hat, geht daraus hervor, daß sich dies Wort in seinen Abhandlungen meines Wissens überhaupt nicht findet. Und von selbst dürften diese Bildungen ihre Gegenwart dem Untersuchenden oft nicht ohne weiteres aufdrängen. Jedenfalls konnten sie bei den erwähnten Untersuchungen um so weniger leicht erfaßt werden, als nur Bodenschichten von zehn zu zehn Zentimetern, oft mit Auslassung gerade derer, in welchen etwa die Pflugsohle hätte liegen können, zur Untersuchung kamen. Man wird, will man die Frage entscheiden, wieweit Pflugsohlenbildung eine Rolle spielt, wahrscheinlich besondere Untersuchungen mit eingehenderer Feststellung über die in Betracht kommende Schicht nicht vermeiden können. Auch die benutzten Untersuchungsverfahren selbst werden vor Beginn der eigentlichen Versuche genauer Durchprüfung bedürfen. Für Schlämmanalysen wird z. B. nur destilliertes Wasser anzuwenden sein, gegebenenfalls daneben künstliche Bodenlösung. Vgl. J. P. van Zyl, Inauguraldissertation Göttingen (1916).

[2]) C. Frömbling, Zeitschr. Forst- u. Jagdwes. **38**, 172 (1906).

dicht gelagertes. Dementsprechend muß auch die Frostwirkung eine stärkere werden,[1]) weil die Wirkung des gefrierenden Wassers eine so besondere Bedeutung für das Zustandekommen einer guten Frostwirkung besitzt. Aber auch in anderer Weise kann hierauf hingearbeitet werden. Bekanntlich dringt der Frost unter unseren klimatischen Verhältnissen häufig nur 10—20 cm weit in den Boden ein; tiefer nur bei strenger und lang andauernder Kälte. Soll aber auch abgesehen von der Zufallsmöglichkeit, daß solche eintritt, die häufiger zu erwartende geringe Frostwirkung dem Acker reichlich zugute kommen, so ist das Aufpflügen in Balken und Streifen hierzu geeignet und seit alter Zeit angewandt.[2]) Besonders bei zähem, undurchlassendem Boden waren die Erfolge oft groß.[3]) Auch die gewöhnliche Pflugfurche gestattet dem Frost ja ein stärkeres Eindringen in den Boden, wenn auch in minderem Umfange.

In geringem Maße mag der Pflug oder die von ihm geschaffene rauhe Furche für das Verwehen des Bodens in Frage kommen. Der Wind hat in dem gelockerten und in kleinen Kämmen aufgehäuften Boden mehr Gelegenheit, Staubteile aufzuwirbeln und mitzunehmen. Diese Ansicht vertreten wenigstens J. A. Hensele[4]) und E. Wollny.[5]) F. H. King[6]) glaubt dagegen, daß gerade glatt liegender, etwa gewalzter Boden leichter verweht wird, was weniger einleuchten dürfte, soweit man nicht mit einer feineren Zerteilung der Bodenkrümel durch die Walze rechnen muß.

e) Die Bodengare.

aa) Die Bedeutung des Ausdrucks.

Außerordentlich bedeutungsvoll ist endlich die Wirkung der Pflugarbeit für das Zustandekommen der Gare im Boden. Es scheint hierbei wohl nötig, auf diesen etwas dunklen Ausdruck noch näher einzugehen. Wir finden als Erklärung der „Bodengare“ auch noch in neueren und neuesten Lehrbüchern und Schriften für Bodenkunde[7]) die Auffassung, wie

[1]) Kenntnis davon schon bei F. Home, übers. J. Chr. Wöllner (Berlin 1763) 145.

[2]) O. Pitsch, Theor. d. Bodenbearb. (Dresden 1884) 131; W. Schumacher, Ackerbau (Wien 1874) 106.

[3]) F. Borgesius, Journ. Landw., n. F., **3**, 290 (1859).

[4]) J. A. Hensele, Forsch. Geb. Agrikulturphysik **16**, 364 (1893).

[5]) E. Wollny, ebendort **18**, 215 (1895).

[6]) F. H. King, ebendort **18**, 214 (1895).

[7]) Vgl. z. B. A. Mitscherlich, Bodenkunde, 1. wie 2. Aufl. (Berlin 1905) 135; (Berlin 1913) 93; A. von Caron, Zentralausschuß Kgl. Landw. Ges. Han-

sie A. v. Rosenberg-Lipinsky vertrat,[1]) daß nämlich das Maßgebende dabei ein Gärungsvorgang[2]) sei und daß die dabei entstehenden Gase den Erdboden gewissermaßen auftrieben, wie die bei der Brotgärung entstehende Kohlensäure den Teig. Besonders hat sich auch A. Mitscherlich diese Ansicht zu eigen gemacht und führt sie noch weiter aus: „Durch diesen (Gärungs-) Prozeß werden somit mehr Gase erzeugt, als aufgenommen.[3]) Sind nun Hohlräume durch feine Wassermenisken" — (in feinen Haarröhrchen die Wände verbindende Wasserhäutchen) — „abgeschlossen, so kann in diesen sich ein Druck entwickeln, welcher ebenso auf die Menisken, wie auf die Wandungen der Hohlräume, d. h. auf die festen Bodenteilchen wirkt. Es ist leicht denkbar, daß auf diese Weise gerade wie bei der Frostwirkung enge Hohlräume erweitert werden, zumal enge Wassermenisken einen außerordentlich großen Druck aushalten können."[4])

Ich habe schon an anderem Ort darauf hinweisen können, daß sehr wahrscheinlich diese Auffassung nicht als zutreffend anerkannt werden kann.[5]) Dagegen sprechen zunächst die Ansichten von A. Mitscherlich selbst. Dieser vertritt nämlich auf der gleichen Seite, welche die oben genannten Ausführungen bringt, die Meinung, daß ein kräftiges Leben

nover, Sitz. 26. November, 124 (1896); H. Droop, Brache in modern. Landw. (1900) 174; O. Reitmayr, Deutsch. Landw. Presse **30**, 389 (1903); K. Bippart, ebendort **32**, 734 (1905); L. Hiltner und K. Störmer, Arbeit. biolog. Abt. f. Land- u. Forstw. d. K. Gesundheitsamtes **3**, Heft 5, 544 (1903); W. Krüger und B. Heinze, Landw. Jahrb. **36**, 384 (1907); C. A. Weber, Jahrb. deutsch. Landw.-Ges. **24**, 294 (1909).

[1]) A. von Rosenberg-Lipinsky, Prakt. Ackerbau **2**, 9 (1862).

[2]) Zu beachten ist auch, daß man in älteren Zeiten mit dem Ausdruck „Bodengare" in keiner Weise an Gärungsvorgänge erinnern wollte. Dies ist nur infolge einer anderen Ableitung des Wortes die heutige Ansicht. Ursprünglich, vgl. W. Schumacher, Ackerbau (Wien 1874) 223, und die dort angeführte weitere Literatur, verstand man unter Bodengare die für die Saat günstigste Beschaffenheit des saatfertigen Ackers. Also war „gar" hier in der Bedeutung „zurechtgemacht", „gebrauchsfertig" benutzt, wie wir davon sprechen, daß Fisch, Fleisch, überhaupt Speisen, „gar" seien. Man denke an das alte Wort „Garküche", oder aus der Metalltechnik an „Garkupfer", „gar"machen von Stahl u. dgl. Auch unten 493, Anmerkung 3.

[3]) Dazu unten 493 Anm. 3, den Widerspruch E. Ramanns.

[4]) A. Mitscherlich, Bodenkunde, 1. Aufl. (Berlin 1905) 135. Ebenso 2. Aufl. (Berlin 1913) 94.

[5]) P. Ehrenberg, Mitteil. landw. Inst Breslau **6** 27 (1910); ebendort **4**, 481 (1908).

der Bodenkleinlebewesen einen „gut durchgearbeiteten, tief gelockerten, zahlreiche, nicht zu enge Hohlräume zeigenden" Boden erfordere. Dies wäre demnach auch die Vorbedingung für lebhafte „Gärungs"-Erscheinungen im Boden. Aber in solchem Boden dürfte die entstehende Kohlensäure nicht, wie in zähem Teig eingeschlossen, hebend und ausdehnend wirken, sondern leicht entweichen, sobald sich nur auch geringe Druckwirkungen einstellten. Das beweist z. B. das von A. Mitscherlich angeführte[1]) Ergebnis der E. Wollnyschen Untersuchungen, bei denen lockere Lehmkrümel — und um solche müßte es sich doch bei gut durchgearbeitetem, tief gelockertem Boden handeln — eine außerordentlich starke Durchlässigkeit für Luft zeigten.[2])

Auch muß man annehmen, daß ein irgendwie auch nur annähernd gasdichter Abschluß durch Wasserhäutchen, wie A. Mitscherlichs Menisken im Boden solche darstellen würden, in keiner Weise möglich ist. Denn die innen unter nicht unerheblichem Druck befindliche Kohlensäure würde, selbst wenn sie das Häutchen nicht zu sprengen vermag, von ihm gelöst und an der anderen Seite wieder abgegeben werden. Mit anderen Worten, die unter Druck stehende Kohlensäure würde aller Wahrscheinlichkeit nach durch das dünne Wasserhäutchen eines solchen Meniskus recht schnell hindurchdiffundieren, jedenfalls schneller, als sie durch biologische Vorgänge im Boden wieder erzeugt wird.[3])

Weiter würden solche Druckwirkungen und Kohlensäuremengen, wie A. Mitscherlich sie voraussetzt, bevor sie den Boden auseinandertreiben könnten, schon vorher auf das Leben der Kleinwelt im Boden wirken und es zum Stillstand bringen,[4]) soweit man ohne besondere Versuche an der Hand des vorliegenden Untersuchungsmaterials annehmen kann. Denn starke Druckwirkungen müssen es

[1]) A. Mitscherlich, Bodenkunde, 1. Aufl. (Berlin 1905) 231.

[2]) E. Wollny, Forsch. Geb. Agrikulturphysik **16**, 212, 220 (1893).

[3]) Besonders diesen Umstand, daß die biologische Bildung der Kohlensäure im Boden nicht annähernd so schnell und umfassend wie im Brotteig vor sich gehen kann, schon weil die großen Mengen leicht umsetzbarer Kohlenhydrate fehlen, hat man meines Erachtens niemals ausreichend beachtet. So wird noch viel mehr mit einem Entweichen gebildeter Kohlensäure auch durch abgrenzende Flächen hindurch zu rechnen sein.

[4]) Ähnliche Überlegungen scheinen A. Mitscherlich zwar nicht fremd zu sein, vgl. Bodenkunde, 2. Aufl. (1913) 95, sind aber hier wohl nicht ausreichend herangezogen.

sein, die A. Mitscherlich voraussetzt.[1]) Hat er doch an anderem Ort die Widerstände, welche sich dem Wachstum der Pflanze im Boden entgegenstellen, mit deutlichen Farben gekennzeichnet.[2]) Und dabei handelt es sich beim Wachstum der Pflanze im Boden nur darum, ihrer Wurzel die nötige Bahn zu verschaffen, während hier das Empordrücken und Auftreiben mächtiger Bodenschichten durch eine dem Vorgang des „Gehens" beim Teig ähnliche Wirkung in Betracht käme.[3])

Aus diesen und anderen Gründen ist demnach die Deutung des Vorgangs der Bodengare nach der Richtung einer Teiggärung abzu-

[1]) A. Mitscherlich vergleicht die „Gärungswirkung" mit dem Frost a. a. O. 94, der doch, wie allbekannt, starke Druckwirkungen ausübt.

[2]) Vgl. A. Mitscherlich, Bodenkunde, 1. Aufl. (Berlin 1905) 124; Fühlings landw. Ztg. **58**, 388 (1909); **59**, 266 (1910). Auf den in der oben gestreiften Ansicht A. Mitscherlichs liegenden Widerspruch machte ich bereits früher aufmerksam, Fühlings landw. Ztg. **59**, 269 (1910).

[3]) Es erscheint bei dieser Sachlage besonders beachtenswert, daß ein ausgesprochener Vertreter der Ansicht einer großen landwirtschaftlichen Bedeutung unserer Bodenkleinlebewesen, F. Löhnis, sich doch von derartigen Vorstellungen über „Gärung" bei der Bodengare fern hält, meines Erachtens sehr mit Recht, wie ich ja solche Ansichten schon längst beanstandete. Vgl. Mitteil. d. landw. Inst. a. d. Univ. Breslau **4**, 481 (1908). — F. Löhnis weist (Vorles. landw. Bakteriologie [Berlin 1913] 353—354), zunächst darauf hin, daß das Wort Bodengare wahrscheinlich nichts mit „Gärung", sondern nur mit „gar" zu tun habe. Garer Boden ist ebenso wie gare Kartoffeln zur Verwendung fertiger Boden. Wäre die Bezeichnung vom „Gären" des Bodens abgeleitet worden, so würde man wohl nicht vom „garen", sondern vom „gegorenen" Boden gesprochen haben, wie das in der Landwirtschaft bei der Jauche auch der Fall ist. Abgesehen von diesen, von mir noch etwas weiter ausgeführten Überlegungen über die ursprüngliche Bedeutung der Bodengare äußert sich F. Löhnis dann auch dahin, daß er die oben von mir bekämpften Ansichten sich durchaus nicht ohne weiteres zu eigen mache. Weiterhin möge man die Überlegung E. Ramanns, der ebenfalls die „Gärungstheorie" ablehnt, beachten. Vgl. Bodenkunde, 3. Aufl. (Berlin 1911) 441. Er sagt: „Die Annahme einer Gasentwicklung im Boden, die dessen Bestandteile teigartig in die Höhe treibt, erregt starke Bedenken. Bei der Verwesung findet keine nennenswerte Änderung des Luftvolumens statt. Auf 1 Volumen gebundenen Sauerstoffs wird 1 Volumen Kohlensäure abgeschieden, und bei der Wasserbildung wird Sauerstoff kondensiert. Es bleiben also nur Wirkungen der Gärung, bei der unter Einfluß von Enzymen organische Stoffe gespalten werden, wie Zucker durch Hefe. Im Boden sind aber weder derartige Zersetzungsprodukte noch die nötige Menge geeigneter organischer Stoffe nachgewiesen, und der nur wenig behinderte Luftzutritt macht es an sich nicht wahrscheinlich, daß solche Prozesse in nennenswertem Umfange statthaben. Zudem spricht gegen diese Erklärung, daß Luft bei jedem Temperaturwechsel und jedem fallenden Luftdruck aus dem Boden austritt, ohne Gare zu erzeugen."

lehnen.[1]) Auch E. Wollny sagte bereits:[2]) „Ein Aufblähen des Bodens durch die in großen Mengen bei geförderter Zersetzung gebildete Kohlensäure wäre nur dann möglich, wenn der Boden, wie in einem Brotteig, eine zähe, den Austritt des Gases hindernde Masse darstellte. Da dies nicht der Fall ist, die Ackererde durch die Krümelung vielmehr eine Beschaffenheit erlangt hat, welche gerade das Entweichen der Kohlensäure an die Atmosphäre ungemein erleichtert, muß die Annahme einer Selbstlockerung des Bodens unter den in Rede stehenden Bedingungen als eine widersinnige bezeichnet werden."

bb) Entstehung der Gare.

Um eine nach meiner Meinung richtige Vorstellung von den die Bodengare verursachenden Vorgängen im Boden zu erhalten, werden wir etwas weiter zurückzugreifen haben. Dabei sei zunächst die Herbeiführung der Bodengare durch Schwarzbrache zugrunde gelegt, wie sie sich auf dem durch K. v. Rümker geleiteten Versuchsgut Rosenthal bei Breslau seinerzeit bewährt hat.[3]) Es wird dort nach der Ernte das Feld geschält und vor Winter tief gepflügt. Möglichst früh im Frühjahr wird das Stück abgeschleppt bzw. geeggt, bleibt dann bis Anfang Mai ruhig liegen, um darauf mit dem Kultivator tief gelockert und abgeeggt zu werden. Ende Mai bis Anfang Juni erfolgt dann die Brachfurche zur halben Tiefe, worauf geeggt wird, und Ende August wird zur Saat gepflügt.[4]) — Wie werden sich nun die Vorgänge auf dem Gebiet der Boden-

[1]) A. Mitscherlich, a. a. O. 95, meint zwar: „Ohne Zweifel beteiligen sich an diesem Gärvorgange (der Bodengare) verschiedene Arten von Sproßpilzen ..." ohne daß bislang irgendein Beweis dafür erbracht worden ist. Es muß wieder darauf hingewiesen werden, daß zu kräftiger Entwicklung von Sproßpilzen, d. h. Hefen, sehr wahrscheinlich die leicht aufnehmbaren Energiequellen im Boden bei weitem nicht ausreichen, ganz abgesehen von den in Wettbewerb tretenden anderen Kleinlebewesen.

[2]) Daß meine Anschauungen sich aber mit denen von E. Wollny durchaus nicht in jeder Weise decken, ist wohl unschwer zu bemerken.

[3]) Über andere Formen neuzeitlicher Brachebearbeitung vgl. man in: Arbeit. Landw.-Kammer Hannover **13**, 164 (1906), Vortrag P. Gisevius.

[4]) Inwieweit dies mehrfache, nicht selten noch häufiger geübte Pflügen des Brachelandes durch selteneres Pflügen oder auch durch etwaige Bearbeitung des Landes mit einer Bodenfräsmaschine oder auf andere Weise zu ersetzen ist, können wir bei dem völligen Mangel dahingehender exakter Versuche noch nicht beurteilen, doch wird auch Witterung und Boden selbst dabei eine erhebliche Rolle spielen. Daß die Anstellung von Versuchen ohne genügende Parallelausführung bzw. ohne Mitteilung der bei Parallelausführung erhaltenen Einzelergebnisse, wie das leider auch noch von wissenschaftlichen Instituten geschieht, vielfach wertlos sein und

kolloide hierbei darstellen, und inwiefern können wir annehmen, daß gerade sie es sind, die uns die Bodengare herbeiführen?

Das von der Frucht geräumte Feldstück hat bis dahin durch die darauf erwachsenen Pflanzen einen größeren oder geringeren Schutz gegen den Aufprall des Regens genossen und ist durch ihren Schatten auch gegen die austrocknenden Strahlen der Sonne geschützt worden. Würde es noch längere Zeit nach der Ernte ungeschält oder ohne andere Auflockerung der obersten Bodenschicht verbleiben, so müßte der Boden sich nun durch Regen immer fester zusammensetzen. Auch würde in ihm dauernd Wasser nach oben emporsteigen und dort durch die Wirkung der Sonne verdunsten. Mit der Zeit käme es zu einem namhaften Austrocknen, auch wohl zur Bildung von Rissen und Spalten, sowie einer schwachen Kruste. Außerdem würde auf dem wenig geschützten Boden die Durchschlämmung verhältnismäßig um so lebhafter einsetzen, als die angebauten Pflanzen die Bodenlösung an etwa ausflockenden Elektrolyten verarmen ließen, indem sie dieselben zu ihrer Ernährung aufnahmen. Unter Umständen ist von einer vorhergegangenen Chilesalpeterdüngung noch dazu Soda im Boden zurückgeblieben,[1]) die in uns bereits bekannter Weise auf die Entstehung von Aufschwemmungen und damit auf die Förderung des Durchschlämmens hinwirkt. Und für das Entstehen besonders leicht löslicher Kalksalze[2]) durch Wirkung sauerstoffbedürfender Bakterien, wie die Salpeterbildner und die Fäulnisbakterien es sind, ist in dem festgelagerten Boden, der auch von zersetzungsfähigen Stoffen wesentlich nur die Wurzeln der beernteten Pflanzen enthält, wenig Aussicht. So wird die Durchschlämmung nicht besonders viel Hindernisse finden, falls der Boden ungeschält längere Zeit in Stoppel liegen bleibt.

Das Schälen bringt die Stoppelreste und etwaiges Unkraut unter und ermöglicht derart eine um so schnellere Zersetzung, als die Unterbringung nur flach geschah, so daß nicht nur Luft, sondern auch schwache Regengüsse fördernd wirken können. Gleichzeitig erhält der Acker eine Decke lockerer Erde, welche das Austrocknen der unter ihr liegenden Schichten

sogar gelegentlich durch falsche Schlüsse noch Schaden bringen kann, gilt auch hier. Vgl. z. B. Arbeit. Landw.-Kammer Hannover **34**. Unterrichtskreis. 8.—11. Jan. 1913, 152.

[1]) Indem die Pflanze die Salpetersäure aufnahm, das Natron an Kohlensäure gebunden im Boden zurückließ. P. Ehrenberg, Mitteil. landw. Inst. Breslau **4**, 490 (1908).

[2]) In erster Linie der vorzugsweise im Boden wirksame saure kohlensaure Kalk, dann salpetersaurer Kalk

durch Sonne und Wind hintanhält und stärkere Regengüsse aufnimmt, die auf dem Stoppelfelde zum Teil an der Oberfläche abfließen und so dem Felde leicht verloren gehen würden. Die obere Schicht der Erde ist außerdem gewendet worden, so daß die Bodenkolloide,[1]) welche etwa noch während des Wachstums der angebauten Pflanzen oder zwischen Schnitt und Schälen der Stoppel aus den obersten Schichten in geringerem Maße nach der Tiefe zu wandern begannen, für die höheren Schichten wieder nach oben gebracht wurden. Dies sind aber noch nicht alle Vorteile. Durch die Zersetzung der Stoppelreste wird Kohlensäure in erheblicher Menge im Boden gebildet — daneben wohl auch etwas Salpetersäure. Sie wirkt mit Hilfe der Feuchtigkeit lösend auf den Kalk desselben[2]) und bedingt so das Auftreten von dem stark auf Aufschwemmungen, wie überhaupt auf die meisten Bodenkolloide fällend wirkenden Kalziumbikarbonat, über dessen Bedeutung weiter unten eingehend gesprochen werden wird. Es wird dies von größter Bedeutung sein.[3]) Denn der durch den Schälpflug in flache, lose aufliegende[4]) Schollen und Brocken umgewendete Boden bleibt nicht in dieser Beschaffenheit erhalten. Wind und Sonne, Erschütterungen aller Art, besonders aber der Regen arbeiten an den, wesentlich aus in enger Lagerung befindlichen Bodenteilchen aufgebauten, Erdstücken. Größere Brocken brechen herab und werden dann wieder aufs neue weiter zer-

[1]) Natürlich im weiteren Sinne gerechnet, also auch Aufschwemmungen feiner Sande u. dgl.

[2]) Es ist durchaus möglich, daß dann durch Regen und durch Kohlensäure gelöstes Kalziumkarbonat, oder Kalziumnitrat, aus der oberen geschälten Krume in die tieferen noch ungelockerten Schichten gewaschen wird, hier auf Bodenkolloide ausflockend wirkt und derart die Struktur der tieferen Bodenlagen etwas verbessert. So könnte man versuchen, die Angabe von W. Strecker, Arbeiten der Landwirtschaftskammer für die Provinz Hannover **30**, 119 (1911), zu erklären, nach welcher die beim Schälen entstandene, „dünne, gelockerte Schicht das einfachste und beste Mittel ist, selbst ganz erhärteten Boden, wenn er ein paar Wochen ruhig unter dieser Decke verbleibt, locker und mürbe zu machen".

[3]) Man vgl. hierzu besonders die Feststellungen von Th. Schlösing d. Ä., der schon vor vierzig Jahren darauf an der Hand von Versuchen hinwies. Vgl. Ann. Chim. et Phys. [5] **2**, 514 (1874).

[4]) Eine Bildung hohler Räume auf der Sohle der gepflügten Ackerkrume braucht hierbei nicht stattzufinden. Immerhin kann sie für die Bildung der richtigen Gare vielleicht Vorteile bieten. Der große Altmeister der Landwirtschaft, Albrecht D. Thaer, hielt die Bildung solcher Hohlräume übrigens auch für vorteilhaft, während A. von Rosenberg-Lipinsky ihnen nützliche Wirkungen absprach. Die richtige Mitte mag W. Schumacher halten, der wenigstens für die Saatfurche die Bildung solcher Hohlräume verwirft, da der Boden sich zu langsam setze. Vgl. W. Schumacher, Ackerbau (Wien 1874) 94—95.

kleinert. Besonders aber trennen sich Einzelteilchen ab und rollen und rutschen durch die vorhandenen größeren und kleineren Hohlräume weiter, mit oder ohne Hilfe von hinzukommendem Regenwasser. Dieses selbst nimmt Bodenkolloide aller Art aus den von ihm durchflossenen Schollen mit;[1]) aber entweder sind diese durch den jetzt neu im Bodenwasser gelösten Kalk bereits in den Zustand der Ausflockung übergegangen, oder es geschieht dies jetzt, wenn sie im Wasser tiefer in den Boden hinab und besonders in die Schicht getragen werden, in der die Stoppeln der Zersetzung unterliegen, also Kohlensäure und damit Kalziumbikarbonat, auch wohl Kalziumnitrat gebildet wird. So findet die Ablagerung der vom Wasser mitgeführten Stoffe an den Stellen, wo Verengung der Hohlräume und Widerstände aller Art dies jetzt im Boden ermöglichen, nicht mehr in enger Aneinanderlagerung, in Einzelkornstruktur statt, sondern es bilden sich lockere Haufwerke, und die unter dem Einfluß des Kalziumions zusammengeballten und demgemäß stärker klebenden Bodenkolloide, besonders der Kolloidton, halten die einzelnen Bestandteile der sich so ergebenden Bodenkrümel in ihrer Lage fest, auch nachdem das Wasser abgeflossen ist, und durch Beseitigung der sie tragenden Flüssigkeit das Gewicht der Einzelteile stärker wirken muß. Daß eine Hinabwaschung in tiefere Schichten in gleicher Weise dadurch verhindert wird, daß jetzt nicht mehr Einzelteilchen, sondern aus ihnen gebildete Flocken, Anhäufungen und Krümel in Betracht kommen, leuchtet ein. Auch der Abzug des Wassers wird durch die abgesetzten Krümel nicht verhindert, wie dies bei einem Zusetzen der Abzugsöffnungen im Boden durch nicht ausgeflockte, sich ganz eng aneinander legende Bodenteilchen der Fall wäre.[2]) Guten Wasserabzug durch ausgeflockte Tone beobachtete bereits Th. Schlösing d. Ä., im Gegensatz zur verstopfenden Wirkung von Aufschwemmungen auf Kapillaren.[3])

Durch Adsorptionswirkungen werden dabei, soweit dies noch nicht der Fall war, Hüllen von Kolloiden um die einzelnen Bodenteilchen geschaffen,[4]) auch fällen sich wohl Kolloide gegenseitig aus, wenn die dazu

[1]) So schildert schon G. Haberlandt die Wirkung des Regenwassers auf den Boden, ohne freilich die ausflockenden Wirkungen der Bodensalze damit in Beziehung zu setzen. Vgl. Wissensch. prakt. Untersuch. Geb. Pflanzenb. **1**, 8 (Wien 1875).

[2]) F. Haberlandt, Wissensch. prakt. Untersuch. Geb. Pflanzenb. **1**, 7 (Wien 1875).

[3]) Th. Schlösing d. Ä., Compt. rend. **70**, 1346 (1870).

[4]) Vgl. z. B. auch F. Senft, Steinschutt u. Erdboden (Berlin 1867) 215.

erforderlichen Konzentrationen gegeben sind. Ist der Regen dann abgeflossen und in die Tiefe versunken, so haben sich die vorher durch die Pflugarbeit geschaffenen größeren Hohlräume in der oberen Bodenschicht mehr oder weniger mit lockeren Anhäufungen ausgeflockter Bodenkolloide, Aufschwemmungen und gröberer Bodenteilchen, angefüllt. Das dann einsetzende Austrocknen steigert die Ausflockung der Kolloide und festigt sie. Kolloidton, Eisenhydroxyd- und Humuskolloide betätigen sich so mehr und mehr in der Richtung, den ursprünglich recht losen Zusammenhang der Einzelteilchen zu festigen, aber auch wieder, ihre gegenseitige Entfernung und damit eben die lockere Lagerung festzulegen. Vielleicht in noch größerem Umfang übernimmt auch wohl beim Austrocknen sich ausscheidender zunächst amorph-gallertartiger kohlensaurer Kalk diese Rolle. So ist der Gesamterfolg die Herstellung einer lockeren Lagerung vieler Teile des Bodens, bei der aber die Einzelteilchen nicht wie bei bloßer Aufschüttung leicht ihre Lage wieder verändern und sich immer enger zusammensetzen, sondern durch die Bodenkolloide und auch noch durch kohlensauren Kalk zu Krümeln vereinigt sind und in diesen eine gewisse Widerstandsfähigkeit gegen Änderungen ihrer Lage besitzen. Nicht mehr das Einzelteilchen, sondern das einzelne Bodenkrümel ist so zur Grundlage der Bodenzusammensetzung geworden.[1]) Die Entstehung der Krümel muß man sich, worauf bereits früher hingewiesen wurde, wohl so vorstellen, daß die in irgendeinem Hohlraum angesammelten, durch ausgeflockte Bodenkolloide locker verklebten Teilchen beim fortschreitenden Austrocknen nicht nur durch die Kolloide mehr und mehr in ihrer gegenseitigen Lagerung gefestigt werden, sondern auch infolge des mit jeder Austrocknung von Bodenkolloiden verbundenen Schwindens Zugkräften ausgesetzt sind. Es kommt an den Stellen, wo die verbindenden, die Körnchen verklebenden Kolloide am wenigsten Widerstand bieten, zur Bildung von Rissen in ihnen, so daß sich unregelmäßige einzelne kleinere und größere Haufwerke von Körnchen und Teilchen abgrenzen, die in sich in der besprochenen Weise verklebt und deren Einzelteilchen in ihrer gegenseitigen Entfernung festgehalten sind. Würden die Bodenkolloide nicht durch Kalk ausgeflockt sein, so würden sie, von anderem abgesehen, beim Schwinden immer weiter zusammenschrumpfen und schließlich, wie dies bei der Krustenbildung der Fall ist, die Bodenteile in ganz enger Lage aneinander fesseln. Da aber

[1]) Ähnliche Anschauungen vertritt zum Teil A. D. Hall, vgl. The Soil (London 1908) 39 ff.

die Kalziumionen ihre Wirkung auch noch nach erfolgter Ausflockung der Bodenkolloide weiter fortsetzen und auch noch andere, wichtige Wirkungen des Kalks in Frage kommen, wie noch gezeigt werden wird, so findet das Schwinden schon erheblich früher sein Ende und die Bodenteile bleiben in gewisser Entfernung voneinander. und unter Bildung einzelner Krümel, befestigt. — Dies wäre der Anfang einer Entstehung von Bodengare. Immerhin bleiben nicht nur die sämtlichen, vom Schälpflug nicht berührten Schichten, sondern auch die nicht zerfallenden Schollenstücke zunächst davon wenig berührt. Eine geringe Beeinflussung zwar wird eintreten. Unter der geschälten Stoppel werden die tieferen Schichten, ähnlich wie unter irgendeiner anderweitigen Bedeckung, Feuchtigkeit ansammeln, indem Regen durch die umgebrochene Stoppelschicht zwar auch zu ihnen dringt, die Abgabe von Wasser an die Luft durch sie aber nahezu beseitigt ist, da die lockere Bodenschicht über ihnen die Sonne und den Wind fernhält, und eine kapillare Lieferung von Wasser an diese Schicht auch zunächst wesentlich ausgeschlossen ist. Erst allmählich schließen sich die größeren Hohlräume, die bei der Schüttung durch den Pflug entstanden sind, aber durch in Krümelstruktur befindlichen Boden, so daß auch nun die kapillare Hebung von Wasser nicht in dem Umfange stattfinden kann, wie bei fest aneinander, in Einzelkornstruktur gelagertem Lande. Da die wasserzehrenden Pflanzen abgeerntet und die Unkräuter durch den Schälpflug mehr oder weniger zerstört sind, so kommt ein Wasserentzug durch sie zunächst nicht mehr wesentlich in Frage. Das vorher ziemlich ausgetrocknete Land gewinnt allmählich wieder größeren Feuchtigkeitsgehalt und die in ihm enthaltenen Bodenkolloide quellen, so daß der vom Boden eingenommene Raum sich vergrößern muß und die einzelnen Bodenteilchen vielfach auseinanderrücken. Weiterhin werden die Schollenteile, die nicht durch Zerfallen und Hinabgleiten kleiner Bodenteilchen an der Bildung der neuen Bodenkrümel im oben geschilderten Sinne teilnehmen, beeinflußt. Da sie in oberflächlichen Schichten liegen, so wirkt Sonne und Wind ziemlich stark austrocknend auf sie ein, gelegentlich mag auch das Sonnenlicht einen gewissen Einfluß ausüben. So kommt es zum Austrocknen und damit Schrumpfen; ein nachfolgender Regen, bisweilen schon reichlicher Tau, feuchtet dann wieder an und bedingt Aufquellen. Je nach der Lage zur Sonne u. dgl. wird eine Bodenscholle an verschiedenen Seiten derartigen Einflüssen in wechselndem Maße ausgesetzt sein, dazu kommt noch ein gewisser Einfluß von Temperaturschwankungen, wobei aber an Frost nicht gedacht sein soll. So muß das ursprünglich feste Gefüge der in Einzelkornstruktur gelagerten Scholle sich lockern. Risse

und Spalten bilden sich auch hier,[1]) die dann wieder mit lockeren Krümeln gefüllt werden. Auch die ursprünglich fest nebeneinander gelagerten Einzelteilchen der übrigen Schollenstücke schieben sich bei jedem Quellen auseinander, ohne dann aber wieder beim Austrocknen so stark wie früher zusammentreten zu können, da mittlerweile die von der verwesenden Stoppel entwickelte Kohlensäure Kalk löslich gemacht hat und dadurch die Bodenkolloide auch hier ausflockt, damit die Schrumpfung über einen gewissen Grad hinaus verhindernd.

Alle diese Vorgänge, unbedeutend und kaum zu beobachten im einzelnen, wirken durch ihre tägliche oder wenigstens häufige Wiederholung zu einem immerhin merkbaren Erfolge zusammen. Ich darf hier wohl daran erinnern, daß die Bodenkunde mit der Geologie verwandt ist. Auch in dieser Wissenschaft erklärt man heute die ungeheuren Umwandlungen von Flachland in Gebirge, von Festland in Meer nicht mehr durch plötzliche Katastrophen, sondern wesentlich durch täglich unmerkliche, aber im Laufe langer Zeiten zu gewaltigen Wirkungen zusammentretende Veränderungen. So wird auch in der Bodenkunde nicht nur bei der Verwitterung, sondern auch bei den schneller eintretenden Umwandlungen des augenblicklichen Bodenzustandes, wie die Gare einen solchen darstellt, mit einer Häufung kleiner Einflüsse und Veränderungen zu rechnen sein.

Immerhin kommen alle diese Umwandlungen im Sinne der Herbeiführung einer garen Beschaffenheit des Bodens nach dem Schälen wesentlich für eine ziemlich dünne Schicht des Landes, aber für seine übrigen Massen nur in sehr beschränktem Maße zustande. Wir sind auch einige Monate nach der Schälfurche noch sehr weit von der Erreichung des Garezustandes entfernt, und die dann einsetzenden Herbstregen würden ebenso wie die Winterfeuchtigkeit bald wieder die Ansätze dazu zerstört haben. Zeigt doch der unter der gelockerten Stoppel liegende Boden immer noch eine ziemlich feste Lagerung und ist nicht imstande, größere Wassermengen sei es aufzunehmen, sei es wenigstens so rasch nach der Tiefe zu abzugeben, daß die oberste Bodenkrume nicht breiförmig verschwimmt.[2])

Es tritt daher nun, bevor der Frost sich des Erdreichs voll bemächtigt hat, die tiefe Furche vor Winter in ihr Recht. Auch sie wirkt in mannigfachem Umfange maßgebend auf die Bodenkolloide ein. Zunächst vermengt sie die bereits in kräftiger Zersetzung befindlichen, mit starker

---

[1]) Die Bedeutung dieser beim Pflügen oder anderweit entstehenden Risse und Spalten für die Entstehung der Bodengare scheint bereits O. Pitsch geahnt zu haben, ohne jedoch den Gedanken weiter auszuführen. O. Pitsch, Bodenbearbeitung (Dresden 1884) 99/100.

[2]) Vgl. dazu u. a. auch W. Schumacher, Ackerbau (Wien 1874) 52.

Kleinflora durchsetzten Stoppelüberreste und dazu etwa noch neu erwachsenes Unkraut mit dem Boden, der gleichzeitig bis in seine Tiefen gewendet und locker aufgeschüttet wird. Da die frisch gepflügte Furche zunächst der Luft reichlich Zugang gestattet,[1]) und in der Regel zur Zeit des Pflügens die Temperatur wenigstens in den Mittagsstunden noch eine vom Nullpunkt ziemlich weit entfernte ist, so werden unter dem Einfluß der erneuten Durchlüftung und der zumeist auch neu zugeführten Pflanzenstoffe die Fäulnisbakterien[2]) im Boden sich noch etwas zu betätigen vermögen, zumal sie ja in großer Anzahl aus der schon halb zersetzten Stoppelmasse im Boden verteilt wurden. Eine gewisse Menge von kohlensaurem Kalk des Bodens wird so noch zur Lösung durch neu gebildete Kohlensäure und zur Verteilung durch die ganze Ackerkrume hindurch kommen. Ebenso bildet sich wohl noch etwas salpetersaurer Kalk; allerdings von beiden Kalksalzen je nach den Umständen[3]) wechselnd viel und in keinem Fall besonders reichlich. Dazu ist die für kräftige Entwicklung der Kleinlebewesen im Boden notwendige Wärme denn doch fast stets zu unbedeutend, besonders da ja nicht nur die Bodenoberfläche, sondern die ganze Masse der Ackerkrume in Betracht kommt.

Auf die in ihrem ganzen Umfange gelockerte und zum Teil „hohl gelegte" Krume wirkt nun zunächst in bereits besprochener Art und Weise der Regen ein, sie sinkt zusammen und bietet dabei Gelegenheit zur Bildung von Bodenkrümeln durch die vom sauren kohlensauren Kalk[4]), — auch etwa salpetersauren Kalk, — zusammengeflockten Bodenkolloide. Doch wird das alles, entsprechend der geringeren Kohlensäure-, beziehungsweise Salpetersäurebildung, in weit geringerem Maße vor sich gehen wie in der geschälten Stoppel; weiterhin sind die starken

[1]) Wenn nicht bei zu nassem Wetter gepflügt worden ist, was ja, wie bekannt, nach Möglichkeit zur Erzielung eines guten Erfolges zu vermeiden ist.

[2]) Darunter sind hier auch die Zellstoff zerstörenden Bakterien verstanden.

[3]) Besonders Wärme und vorhandene Pflanzenmasse.

[4]) Wie schon an anderen Stellen ist auch hier der Kalk als Vertreter auch der anderen, ähnlich im Boden auftretenden Verbindungen genannt. So kann durch Kohlensäure im Boden auch die Lösung von Magnesiumkarbonat, wie auch z. B. von Ferrokarbonat — dies dürfte bei uns in der hier in Frage kommenden Richtung im Ackerboden indes kaum eine Rolle spielen — gefördert werden. Nach Th. Schlösing stehen die Magnesiumsalze in ihrer Wirkung den Kalksalzen nahe oder erreichen sie. Vgl. Th. Barrals Journ. agricult. pratique 50, 93, 140, 171 (1874); zit. nach Zentralbl. Agrikulturchem. 7, 156 (1875). — Man vgl. hierzu, daß Th. Remy; Zentralbl. f. Bakteriol., Teil II, 22, 577 (1909), bei mit Kalk und Magnesia gedüngten Böden besonders die „geradezu auffälligen" Unterschiede in der mechanischen Bodenbeschaffenheit gegenüber den Vergleichsstücken hervorhebt.

Niederschläge des Herbstes dazu angetan, in der Krume vorhandene Mengen von saurem kohlensaurem noch mehr aber von salpetersaurem Kalk auszuwaschen, ohne daß dafür an entsprechende Nachlieferung aus den Bodenvorräten infolge der geringeren Kohlensäure- und Salpetersäurebildung gedacht werden könnte. Obwohl nicht wenige der Vorbedingungen für günstige Veränderungen der Bodenstruktur gegeben sind, wenn die Herbstfurche den Boden tief lockerte, mischte und umwandte, so wird daher das so erreichte Ergebnis häufig nicht eine auch nur annähernd genügende Bodengare sein. Eins ist aber jedenfalls erreicht. Der weitgehend gelockerte Boden, der immer wenigstens zum Teil in Krümelstruktur übergeht und auch schon vorher übergegangen ist,[1]) vermag ungleich größere Wassermengen zu fassen, als zuvor.[2]) Er nimmt sie aus den Herbstregen auf und bietet nun dem Winterfrost eben seines Wassergehaltes halber weitgehende Gelegenheit, seine Lockerungs- und Zertrümmerungskünste auszuüben, die, wie wir oben schon sahen, im wesentlichen, auch unter mehr oder minder starker Beteiligung der Bodensalze, zu einem Festlegen der Bodenteilchen in einiger Entfernung voneinander durch ausgeflockte Bodenkolloide, mit anderen Worten, zur Krümelbildung führen.

Ein je nach den Umständen mehr oder minder erheblicher Teil des vor Winter gepflügten Bodens enthält seine Kolloide in stark gequollenem, in gewissem Umfange sogar im kolloid verteilten, im Sol-Zustande, wobei die letzten indes durch Adsorption in der Regel noch einen erheblichen Schutz gegen das Auswaschen genießen werden; die von mir zumeist unter den Kolloiden auch einbegriffenen feinsten Sande u. dgl. werden ebenfalls vielfach nicht im Ausflockungszustande vorhanden sein sondern in Form von den Kolloidlösungen mehr oder minder nahestehenden Aufschwemmungen mit größerem oder geringerem Wassergehalt. Das meist nasse Spätherbstwetter, ebenso wie die lange Zeit, welche der Boden von der Bestellung bis nach der Ernte ungelockert dalag, werden hierzu erhebliche Veranlassung gegeben haben. Natürlich kann man sich die Verhältnisse nicht so vorstellen, als wenn der Boden sich völlig unter Wasser befände. Doch enthalten die mannigfaltigen kleinen und größeren kapillaren Kanäle in der Bodenmasse Raum und Flüssigkeit genug, um hier derartige Vorgänge zu ermöglichen. Auch können die einzelnen Bodengebilde schon früher in den der Krümelbildung entgegengesetzten Zustand der Aufschwemmung oder Solbildung, wenn Wasser genug da ist, oder der Einzel-

[1]) Nach dem Schälen der Stoppel.
[2]) W. Schumacher, Ackerbau (1874) 51 ff.

kornstruktur, wenn es die Körnchen nicht voneinander trennt, übergegangen sein.

Hier setzt nun der Frost ein und wirkt, wie oben[1]) näher dargelegt werden konnte, stark auf die Bildung der Bodenkrümel hin. Etwas aber fehlt, um auch bei dem Frost folgenden, heftigeren Regengüssen die neugebildeten Krümel stärker gegen die Auflösung zu sichern, das ist der durch die Bodenkohlensäure gelöste Kalk. Zwar dürfen wir annehmen, daß die ausflockende Wirkung des Frostes nicht mit seinem Aufhören alsbald verschwindet. Aber so sehr lange wird sie doch nicht andauern, zumal nicht beim Kolloidton, eher wohl bei Humuskolloiden. Daher kann ungünstiges Frühjahrswetter die guten Wirkungen des Durchfrierens auf die Krümelstruktur des Bodens in nicht geringem Maße wieder vernichten. Das herniederströmende Regenwasser fand im Boden nicht reichliche Kohlensäuremengen vor, um alsbald durch Lösung von Kalk seine die Ausflockung der Bodenkolloide vernichtenden Eigenschaften zu verlieren.[2]) Allerdings muß, in je besserem Gefüge der Boden in den Winter ging, das überschüssige Wasser um so schneller in den Boden versinken können, und so die Vernichtung oder Schädigung der Bodenkrümel durch Aufschlämmen in dem salzarmen Wasser der Niederschläge mehr zurücktreten. Derart wird, je nach der Witterung, zu Frühjahrsbeginn das Bodengefüge bald geringen, bald größeren Anforderungen entsprechen. Der Landwirt greift daher, nachdem er schon vorher etwa vorhandene Verdichtungen der Oberfläche durch Abschleppen mit später folgendem Eggen zu beseitigen gesucht, gegen Anfang Mai abermals dazu, durch Lockerung dem Boden die Bedingungen für weitere Ausbildung der Krümel zu geben. Um die Verdunstungsverluste an Wasser dabei zu mindern, wird der Exstirpator oder ein ähnliches Gerät meist vorgezogen, der aber auch die Pflanzenmasse bis dahin aufgeschossener Unkräuter zur Zersetzung unterbringt. Nun wird der Boden, dessen oberste Schicht natürlich durch den Regen am meisten geschädigt ward und daher die Durchlüftung des Bodens erschwerte, wieder dem Zugang der Luft gründlich geöffnet, und mit der steigenden Wärme nimmt die Bildung von Kohlensäure durch die Bodenkleinlebewesen

[1]) 138 u. f. und 162 u. f.; um Wiederholungen zu vermeiden, wird hier nicht noch einmal besonders auf den Verlauf der Krümelbildung durch den Frost eingegangen.

[2]) Th. Schlösing d. Ä. wies bereits darauf hin, daß bei langsamem Eindringen des Regenwassers in den Boden sich das Kalziumbikarbonat nachbilden kann, so daß es in genügender Menge in der Bodenfeuchtigkeit erhalten bleibt und keine Auflösung der Krümel eintritt.

um so mehr zu, als ja wieder mit dem untergebrachten Unkraut neues zersetzliches Pflanzenmaterial zur Verfügung steht. Wieder kommt das Spiel der Ausfüllung von Hohlräumen und Rissen durch unter dem Einfluß des gelösten kohlensauren Kalks gebildete Bodenkrümel zur Geltung, wieder wird besonders durch dies Salz, wie auch durch den im Boden sich ebenfalls bildenden salpetersauren Kalk der Rückgang der Quellung für austrocknende Bodenkolloide beschränkt, so daß sie eine lockerere Beschaffenheit behalten, und was der bereits geschilderten Einwirkungen mehr sind.

Aber die Unkräuter sind durch die Behandlung mit dem Exstirpator durchaus nicht in ihrer Gesamtheit abgeschnitten und in den Boden hineingebracht worden; vielfach sind wohl nur Blätter abgerissen oder einzelne Teile geschädigt und zur Zersetzung in die Tiefe versenkt worden. Auch die Regengüsse, die im Frühjahr auf das von keiner dicht stehenden Pflanze geschützte Land oft noch mit besonderer Stärke herniederströmen, machen eine erneute Behandlung des Bodens notwendig, soll seine Krümelstruktur unter fortschreitender Verbesserung dem erreichbaren Höhepunkt möglichst nahekommen, der ja u. a. von dem gerade richtigen Zustande der vorhandenen Bodenkolloide, wie von manchen anderen Umständen abhängt. So folgt nach annähernd einem Monat eine Pflugfurche, die aus verschiedenen Gründen nur zur halben Tiefe durchzuführen ist. Neben dem Vermeiden verstärkter Austrocknung dadurch, daß man nicht den ganzen Krumenboden bewegt, ist auch der Boden in seiner Tiefe schon seit dem Frost weniger der die Krümelstruktur vernichtenden Wirkung des Regens ausgesetzt gewesen, als die oberen Schichten. Der Aufprall spielt in der tieferen Hälfte der Ackerkrume schon gar keine Rolle, aber auch das Regenwasser wird meist, bis es dorthin gelangt, nicht mehr in dem Maße die Armut an Salzen zeigen, welche es an der Oberfläche so sehr zur Bildung von Aufschlämmungen und zur Lösung der Bodenkrümel befähigt. Allerdings mag das Regenwasser auch in tieferen Schichten der Ackerkrume noch derartige Wirkungen ausüben, solange der Boden noch kalt und die Kleinflora untätig ist. Nach Frühlings Anfang aber wird die Aufschwemmung und das Durchschlämmen gewiß nur mehr gelegentlich in den oberen Bodenschichten eine Rolle zu spielen vermögen. Denn neben der Lösung von Kalk durch die sich nun mehr und mehr bildenden Kohlensäuremengen des Bodens[1]) kommt auch die Kalklösung wegen Bildung von Salpetersäure aus Ammoniak durch die Salpeterbildner in Betracht, und zwar wahrscheinlich recht

[1]) Vgl. dazu z. B. E. Ebermayer, Forsch. Geb. Agrikulturphysik 13, 15 (1890).

erheblich[1]), wenngleich der erste Vorgang immer der für diese Verhältnisse bedeutungsvollere verbleiben dürfte. Durch Regen werden beide Kalksalze nicht gleich in den Untergrund gewaschen, sondern nur die oberen Schichten der Ackerkrume dürften daran verarmen und demnach zur Bildung von Aufschwemmungen, zur Zerstörung der Krümel und zum Übergang in die Einzellagerung der Bodenteilchen neigen, wenn heftige, lang andauernde Regenfälle in Frage kommen. Aber, und das ist wichtig und hindert in der warmen Jahreszeit trotz stärkerer Niederschläge auch in den oberen Schichten in der Regel die völlige Vernichtung der Krümelstruktur: Nach jedem Regen verdampft aus der Oberfläche des Bodens das Wasser ziemlich schnell, jedenfalls gegenüber den Verhältnissen in der kalten Jahreszeit. Und mit dem dann kapillar aufsteigenden Wasser der tieferen Bodenschichten kommen auch wieder gelöste Kalksalze in die etwa daran verarmte obere Bodenkrume.[2]) So kann, bevor die Struktur dort beim Eintrocknen völlig verloren gegangen ist, das Kalziumion seine günstigen ausflockenden bzw. das Bodengefüge erhaltenden Eigenschaften noch geltend machen. Nur wenn stärkerer Regen nach besonders feiner Bestellung mit weitgehender Pulverung des Bodens eintritt, auch wohl sehr heftige Güsse durch Anprall und durch fast völlige Verarmung der oberen Schichten an gelösten Salzen dort die Krümelstruktur weitgehend beseitigt hatten und nun auch die Bodensalze verhältnismäßig tief hinabgespült sind, wird es auch im Sommer zur Zerstörung des Gefüges in ähnlicher Weise wie bei Niederschlägen in der kühlen Jahreszeit kommen. Daß zur Verhinderung hiervon, wie schon erwähnt, auch die Möglichkeit schnellen Wasserabzugs eine große Rolle spielt, liegt sehr nahe.

Hier greift nun die Brachfurche zur halben Tiefe wieder ein, sie lockert noch einmal die oberen Bodenschichten, sie fördert hier die Salpeterbildung wie die Entstehung von Kohlensäure, und damit die Auflösung von Kalk, der die Bodenkrümel vor Zerstörung schützt.[3]) Durch Niederführung von zu Krümeln zusammengekitteten Bodenteilchen mit dem einsinkenden Regenwasser oder deren erst hierbei stattfindende Bildung schreitet die Umwandlung des ganzen Bodens der Ackerkrume in ein Gefüge von Krümeln weiter und weiter vor.

Vielleicht darf hier noch einmal darauf hingewiesen werden, daß

[1]) Vgl. B. M. Welbel, Journ. exper. Landw. **5**, 169 (1904).

[2]) Vgl. u. a. noch einmal Th. Schlösing d. Ä., E. Frémys Encyclop. chim. (Paris 1885) 64.

[3]) Th. Schlösing d. Ä., Ann. Chim. Phys. [5] **2**, 514 (1874); E. Wollny Forsch. Geb. Agrikulturphysik **20**, 52 (1897/8).

sehr wahrscheinlich außer dem ursprünglich noch in feuchtem Zustande erfolgenden Aneinanderkleben der einzelnen Bodenteilchen durch Kolloidton[1]) oder Humuskolloide[2]) in ausgeflocktem Zustande noch andere Bindemittel[3]) eine Rolle spielen dürften. Zunächst Eisenhydroxydkolloide, die durch die Verwitterung fester Bodenteilchen oder auch durch Umwandlung lokal infolge Reduktion entstandener Eisenoxydulverbindungen auftreten mögen.[4]) Vielleicht können auch Eisenphosphate, Aluminiumhydroxyd und Aluminiumphosphate frisch, gleich nach ihrer Ausscheidung gelegentlich kittend wirken,[5]) wie dies noch manche Silikate tun werden. Nach einmal erfolgtem Austrocknen wird diese Eigenschaft aber auch wohl vielfach dauernd verloren sein.

Eine wichtige Rolle wird dann noch den Kalkkarbonaten zuerkannt werden müssen. Nicht nur, daß diese, oder vielmehr das Kalziumbikarbonat allein, neben und, aus Gründen der Konzentration, vor dem Kalziumnitrat maßgebend für die Ausflockung der Bodenkolloide wirken, sie betätigen sich auch bei der Krümelbildung, indem sie die Bodenteilchen aneinander kitten oder vorhandene Bindungen festigen helfen.[6]) Nach jedem Regen wird sich die reichlich im Boden vorhandene Feuchtigkeit unter dem Einfluß der Kohlensäure der Bodenluft mit doppeltkohlensaurem Kalk anreichern. Vermindert sich nun diese Feuchtigkeit

[1]) Th. Schlösing d. Ä., ebendort.

[2]) Derselbe, ebendort. Th. Schlösing d. Ä. sieht die Humuskolloide als dem Ton in ihrer Bindefähigkeit für Bodenteilchen überlegen an, hebt aber hervor, daß sie nicht wie dieser ohne Minderung ihrer Eigenart häufiges Austrocknen und Wiederanfeuchten vertragen können. A. D. Hall, Journ. Chem. Soc., Trans. **85** (2), 951 (1904), erwähnt, „daß in Böden, die eine größere Menge von organischer Substanz enthalten, wie die Weideböden und manche Ackerböden dieses Landes (England), die Menge der Humats genügt, einen ansehnlichen Betrag der feinsten Teilchen in lose Anhäufungen zusammenzubinden, welche der Zerteilung durch Kochen oder Zerdrücken bei der Behandlung des rohen Bodens Widerstand leisten. In anderen Böden dient das Kalziumkarbonat in gleicher Weise als Bindemittel für die feinsten Teile."

[3]) R. Warington, Lect. some physic. propert. soil (Oxford 1900) 25; ebenda auch 27.

[4]) E. W. Hilgard, Soils (Neuyork 1906) 110/11; R. Warington, a. a. O. 28.

[5]) Th. Schlösing d. Ä. a. a. O.

[6]) A. Sauer, Zeitschrift für Naturwissenschaften, **62**, 326, 1889. J. M. van Bemmelen, Arch. Néerlandaises des sciences exactes et naturelles [2] **10**, 236—237 (1905). E. W. Hilgard, Soils (Neuyork 1906) 110; R. Warington, a. a. O. 29 H. Puchner, Intern. Mittlg. Bodenk. **3**, 231 (1913). W. Meigen und H. G. Schering, Mitteilung d. Großh. Bad. Geol. Landesanstalt, **7**, 643, (1914). J. P. van Zyl, Intern. Mittlg. Bodenk. **6**, 357/8 (1916).

durch die wieder einsetzende Austrocknung, oder treten auch nur Schwankungen in ihrem Kohlensäuregehalt ein, so wird sich gewöhnlicher zunächst amorpher kohlensaurer Kalk abscheiden[1]) und bald die bereits bestehenden Verbindungen zwischen den einzelnen Bodenteilchen festigen, bald auch neue schaffen,[2]) wobei der Humus des Bodens gleichzeitig tätig sein dürfte. Nur ist zu beachten, daß die durch Kalk verkitteten Bodenteilchen gegenüber den verschiedenen die Bodenstruktur schädigenden Wirkungen eine ganz andere Widerstandskraft aufweisen werden, als die nur durch ausgeflockte und etwa mehr oder weniger eingetrocknete Kolloide verbundenen. Gerade die so günstige Wirkung der Brache auf die Bodenstruktur dürfte sich zu nicht ganz geringem Teile dadurch erklären, daß die auch sonst durch Kolloidverklebungen sich bildenden Bodenkrümel[3]) hier infolge der häufigen Wendung und Lockerung des Bodens, wie der meist nicht geringen Bildung von Kohlensäure halber Gelegenheit haben, sich durch Verdunsten eines größeren Teils der Bodenlösung mit ausfallendem kohlensauren Kalk zu festigen.[4])

Daß kohlensaurer Kalk auf Vereinigung von Bodenteilchen zu Krümeln hinwirkt, darf uns nicht überraschen. Beim Löß, der ja nach heutiger allgemeiner Anschauung aus durch Wind verwehtem Staub entstanden ist, hat man derartige Beobachtungen oft genug gemacht.

[1]) Die bei dieser Ausfällung voraussichtlich maßgebenden Verhältnisse dürften gelegentlich sehr verwickelt sein. Einen gewissen Einblick würden Erweiterungen der Darlegungen von A. Reichard, Koll.-Zeitschr. **18**, 195 (1916) uns gewähren.

[2]) Die von A. Thiel — Indikatorenforschung, Ber. d. Gesellsch. z. Förd. d. ges. Naturw. (Marburg 1912) 129 — erwähnte Neigung von $CaCO_3$-Lösungen zu starken Übersättigungen mag hier auch gelegentlich eine Rolle zu spielen vermögen, indem sie durch schließlich auftretendes, starkes Ausfallen weitgehende Verkittungen schafft, welche dann die augenblickliche Struktur für längere Zeit festlegen. Da nach J. H. van't Hoff — Arch. Néerland. scienc. exact. natur. (2) **6**, 487 (1902); Zeitschr. phys. Chem. **43**, 512 (1903) — Übersättigungserscheinungen um so stärker auftreten, je größer die Wertigkeit der Ionen ist, so wird das stark auf die Bodenkolloide wirkende Kalziumbikarbonat voraussichtlich auch wieder in dieser Hinsicht einen besonders starken Einfluß gegenüber manchen anderen Kalksalzen, zumal dem Kalksalpeter, ausüben. Doch wird auch der Gips, von dem ja auch Neigung zu Übersättigungserscheinungen bekannt ist, wie vielleicht auch noch die Eisen- und Magnesiumsalze hier in Betracht kommen.

[3]) Vgl. noch dazu u. a. Th. Schlösing d. Ä., Compt. rend. **74**, 1408 (1872); auch Moormann, Journ. Gasbeleucht. Wasserversorg. (1894) ist noch zu erwähnen.

[4]) Vgl. auch E. W. Hilgard, Amer. Journ. Science Arts **6**, Oktoberheft (1873). H. Puchner, Intern. Mittlg. Bodenk. **3**, 232 (1913).

So sagt z. B. Th. Siegert,[1]) daß „der kohlensaure Kalk des Löß zum Teil einzelne Quarzkörnchen mit einer feinen Haut überzieht, zum Teil mehrere kleine Körnchen zu einem Konglomeratbröckchen verkittet", W. Meigen und H. Schering,[2]) „der Löß bestehe vorzugsweise aus Quarz- und Feldspatsplittern, die durch Überzüge von kohlensaurem Kalk locker miteinander verbunden sind. Wenn sich die Masse auch leicht zwischen den Fingern zerreiben läßt, so ist der Zusammenhang doch immer ein so fester", daß der Löß die bekannte Neigung zeigt, ziemlich senkrechte Wände zu bilden. Ähnlich äußert sich noch A. Sauer.[3]) Auch K. Andrée macht gleiche Angaben.[4]) Übrigens mögen sich Eisenverbindungen, zumal gallertartige, ebenfalls ähnlich betätigen können, wenn auch meist in geringem Umfange.[5])

Doch wieder zurück zur Erklärung der nach Brachebehandlung eintretenden Ackergare. Nach der zu halber Tiefe gegebenen Brachfurche erreicht das Land nun mehr und mehr die erwünschte Beschaffenheit. Die noch eintretenden Regengüsse finden, soweit sie nicht bei der hohen Luftwärme rasch wieder verdunsten, durch die bereits weitgehend gekrümelte Erde schnellen Abfluß, die lebhafte Salpeterbildung und Zersetzung der Humusbestandteile des Bodens, wie auch neu untergebrachter Pflanzenteile sorgen für reichliches Vorhandensein von Kalk- und Magnesiumsalzen in der Bodenflüssigkeit, gelegentliche Feuchtigkeitsverluste haben zur Ausscheidung von kohlensaurem Kalk und damit zur Festigung und zu weiterer Bildung der Bodenkrümel geführt. Außerdem aber tritt nun noch durch den Einfluß der Niederschläge, des Druckes der Erdschicht, — vielleicht kann auch der Wind einmal eine geringe Rolle spielen, — im Laufe der Monate eine verhältnismäßig feste Aneinanderlagerung der Bodenkrümel ein. Der Boden senkt sich etwas. Aber wohlgemerkt, er schlämmt nicht zusammen, sondern nur die einzelnen Krümel lagern sich enger aneinander und verkleben und vereinigen sich wohl auch jetzt, wesentlich durch sich ausscheidendes Kalziumkarbonat, zu größeren Anhäufungen. So gewinnt der Boden beim Bestehenbleiben der Krümelbildungen, und dadurch lockerer Struktur, doch einen gewissen Schluß, einen Zusammenhang der

[1]) Th. Siegert, Erläut. geolog. Spezialkarte Sachsen, Sekt. Hirschstein, Bl. **32** (Leipzig 1889) 34.

[2]) W. Meigen und H. Schering, Mittlg. Bad. Geol. Landesanstalt **7**, 643 (1914).

[3]) A. Sauer, Zeitschr. Naturwissensch. **62**, 326 (1889)

[4]) K. André, Geologische Rundschau **3**, 540 (1912).

[5]) Th. Schlösing d. Ä. Compt. rend. **135**, 601 (1902); H. Puchner, Intern. Mittlg. Bodenk. **3**, 236 (1913). Vgl. oben 317 u. f. sowie 434 u. f.

einzelnen, nicht nur mehr lose aneinander gehäuften Bröckchen. Die „Gare" ist da.

Die endlich den ganzen Vorgang abschließende Saatfurche beseitigt noch einmal etwa eingetretene Gefügeverschlechterungen der oberen Schichten, versenkt neu aufgelaufenes Unkraut zur Zersetzung und Zerstörung in den Boden, und bietet zum letztenmal Gelegenheit zur Betätigung der mannigfachen Bildungsmöglichkeiten der Bodenkrümel.

In ganz ähnlicher Weise, nur nicht so ausgesprochen, kann nun die Gare auch nach der üblichen Ackerbestellung zur Frühjahrssaat oder bei sonstiger Bodenbearbeitung eintreten. Nur wird immer festzuhalten sein, daß einmal die Lockerung des Ackers, zweitens das Vorhandensein von Bodenkolloiden und drittens ausreichende Mengen löslicher Kalk- und Magnesiasalze im Boden, durch Kohlen- und Salpetersäurebildung bedingt, als grundlegende Erfordernisse für sie anzusehen sind. Insofern als für die Kohlen- und Salpetersäurebildung im Boden auch Kleinlebewesen sowie sich zersetzende Pflanzen- oder Humusteile erforderlich sind, müssen diese ebenfalls als Grundbedingungen für die Entstehung der Gare angesehen werden. Aber auch nur in diesem Sinne, nicht wegen an die Hefewirkung bei „gehendem" Teig erinnernder oder sonstiger geheimnisvoller biologischer Vorgänge.

Auch kann natürlich bei Mangel ausreichender Mengen von kohlensaurem Kalk oder Magnesia im Boden die Kohlensäure- oder Salpetersäurebildung durch die Kleinlebewesen nicht zu wirklich guter Gestaltung der Gare führen. Denn das Grundlegende sind nicht diese beiden Säuren und irgendwelche Salze derselben, sondern nur das zweiwertige, Aufschwemmungen und Kolloide ausfällende Kalzium- und Magnesiumion, das im Boden wohl nur durch Hilfe der erwähnten beiden Säuren, besonders aber der Kohlensäure, in erheblicher Konzentration aufzutreten und seine wichtigen Wirkungen zu äußern vermag. Ein wenig mag wohl auch noch die Schwefelsäure, die sich ja bei der Verwesung der Pflanzenreste auch bilden muß, dabei wirken, doch gewiß nicht in irgendwie größerem Umfange. Sobald Pflanzen in erheblicher Menge auf dem Boden wachsen, werden die Verhältnisse wieder ganz andere, da die Bodenlösung durch die Aufnahmefähigkeit der Pflanzen für allerlei Mineralstoffe ganz wesentlich beeinflußt werden muß. Darüber noch später.

Daß Kalk- und Magnesiumsalze für das Entstehen der Gare eine ganz erhebliche Rolle spielen können, zeigen auch Beobachtungen Th. Remys, die somit hier, als für meine Auffassung beweisend, angeführt sein mögen.[1])

---

[1]) Th. Remy, Zentralbl. Bakteriol. (2), **22**, 577 (1909): „Hier sei zu den mitgeteilten Ernten auf den zur Untersuchung benutzten Beeten festgestellt,

Vor einiger Zeit wurden als besonders auffällig und neu Versuche von Suringar in der Literatur erwähnt,[1] nach denen Bodenkleinlebewesen, besonders Schimmelpilze, als Erreger der Bodengare anzusehen seien.[2] Der Beweis dafür sollte darin gefunden worden sein daß im Erdboden bei Zusatz von Karbolsäure die Gare ausgeblieben war.

Nach den von mir für den Vorgang der Gare gegebenen Erklärungen ist es, wie man leicht einsieht, durchaus möglich, den fraglichen Tatbestand zuzugeben und doch die Hypothese von den besonderen Gareerregern durchaus abzulehnen. Die Kleinlebewesen sind für den Eintritt der Gare insofern erforderlich, als sie dafür sorgen, daß ständig Kohlensäure, daneben auch Salpetersäure, in ausreichender Konzentration im Bodenwasser vorhanden ist, um durch Bildung der entsprechenden Kalk- und in geringerem Umfange auch Magnesiumsalze die Ausflockung der Bodenkolloide zu sichern. Man könnte sich aber durchaus vorstellen, daß ausreichende Mengen löslicher Kalk- und Magnesiumsalze aus anderer Quelle geliefert würden, wenngleich das unter natürlichen Verhältnissen nicht der Fall ist und im Versuch zum mindesten schwer durchzuführen sein dürfte.[3]

Der Irrtum, der von den Vertretern der Ansicht vom Vorhandensein besonderer Gareerreger begangen wird, ist demnach zum mindesten der-

daß die Ertragsüberlegenheit der mit Kalk und Magnesia gedüngten Beete, die besonders dort in Erscheinung tritt, wo es nicht an den erforderlichen Beigaben der übrigen Nährstoffe gefehlt hat, zu einem guten Teil in der besseren, mechanischen Beschaffenheit des Bodens begründet ist. Die diesbezüglichen Unterschiede sind geradezu auffällig. Dunkle Farbe, Lockerheit, schnelleres Austrocknen in feuchten und längeres Feuchtbleiben in trockenen Perioden, leichte Bearbeitungsfähigkeit, kurz, alle typischen Kennzeichen der Gare zeichnen die mit Kalk und Magnesia gedüngten Beete so vor allen übrigen aus, daß die Unterschiede schon auf weite Entfernungen hin wahrzunehmen sind." Th. Remy spricht dann weiterhin noch von „der durch diese Dungstoffe (Kalk und Magnesia) beförderten Bodengare".

[1] Vgl. auch z. B. M. Hoffmann, Mitteil. Deutsch. Landw.-Gesellsch. **21**, 145 (1906).

[2] I. Behrens, der zuerst von dieser an leider schwer zugänglicher Stelle nur kurz veröffentlichten Beobachtung spricht — die Untersuchungen sind auf Java ausgeführt —, vertritt sonst besonders L. Hiltner gegenüber, und gewiß mit Recht, die Ansicht, daß die bisher als Gareerreger ausgegebenen Lebewesen doch zunächst „ein sehr prekäres, rein hypothetisches Dasein" führen. Vgl. Mitteil. Deutsch. Landw.-Gesellsch. **19**, 182 (1904).

[3] Experimentalarbeiten über die Entstehung der Bodengare auf Grund der hier wiedergegebenen Anschauungen werden, ebenso wie manche anderen Arbeiten auf dem Gebiete der Bodenkolloide im agrikulturchemischen Institut der Universität Göttingen zur Ausführung kommen, sobald dessen im Vergleiche zu ähnlichen Forschungsstätten leider recht beschränkte Einrichtungen und Mittel dies gestatten.

selbe, wie ihn vor langen Jahren bei einem anderen Gegenstande die ganze Landwirtschaft beging, als sie den Humus als das wichtigste Mittel für die Ernährung der Pflanzen ansah. Ebenso wie der Humus nicht selbst Grundlage der Ernährung ist, sondern diese nur indirekt zu fördern vermag und außerdem, wenigstens theoretisch genommen, dabei auch ersetzt werden kann, so sind nicht irgendwelche Kleinlebewesen geheimnisvolle Gareerreger, sondern sie fördern die Gare nur indirekt durch Löslichmachung von Kalk und Magnesia, wobei sie gleichfalls mindestens theoretisch genommen zu ersetzen wären.

In Wirklichkeit sind sie, nämlich die längst bekannten Salpeterbildner, wie vor allem die kohlensäureausscheidenden Kleinlebewesen,[1]) aber zurzeit für die Herstellung einer ausreichenden Ackergare nicht zu entbehren,[2]) und es mag ganz gewiß als äußerst zweifelhaft erscheinen, ob es jemals vorteilhaft sein oder auch nur gelingen wird, sie in ihrer kalklösenden Tätigkeit zu ersetzen.

Daß, um zu jenem Versuch Suringars zurückzukehren, durch Einbringung von Karbolsäure in den Boden das Entstehen der Bodengare gehindert werden mußte, erklärt sich auf diese Weise leicht. Es werden dabei keineswegs irgendwelche besonderen Gareerreger getötet, sondern es wird mit einer weitgehenden Störung des Lebens der Bodenkleinlebewesen sowohl die Kohlensäure- wie die Salpetersäurebildung gehemmt, und damit bleibt die für die Gare erforderliche Menge löslicher Kalk-

[1]) Auch Kleinlebewesen, die im Ackerboden organische Säuren einfachster Zusammensetzung bilden, oder auch zum Auftreten von Schwefelsäure bei der Zersetzung von Eiweiß beitragen, könnten eine, allerdings wohl sehr zurücktretende Rolle spielen. Verwickelter zusammengesetzte organische Säuren müssen dagegen, wenn sie im Boden vorkommen, auch in Form ihrer Kalksalze ungünstig auf das Bodengefüge wirken. Man vergleiche das beim Abschnitt „Adsorption" Gesagte. Dazu kommen noch, wie später zu erwähnen, die durch ihre Wurzeln Kohlensäure ausscheidenden höheren Pflanzen, die aber eine besondere Stellung einnehmen, weil sie auch selbst wieder Kalk verbrauchen.

[2]) In diesem Sinne, aber auch nur in diesem, nicht mit Hinblick auf die stickstoffsammelnden Bakterien kann man demnach den Satz von G. Vibrans-Wendhausen als richtig ansehen: „Man kann die Wirksamkeit der Bakterien an der Gare des Bodens feststellen." Mitteil. Deutsch. Landw.-Gesellsch. **19**, 115 (1904). Ebenso ist in dieser Richtung die Beobachtung von A. Koch zu deuten, daß häufiges Umschaufeln von Erdboden mit seiner Förderung des Bakterienlebens infolge guter Durchlüftung die wasserfassende Kraft des Bodens um fast 20 vom Hundert erhöht. Vgl. Bodenbakter. Forschung. u. i. prakt. Bedeut. Vortrag geh. 4. Dez. 1903 Ökonom.-Gesellsch. Kgr. Sachsen (Dippoldiswalde 1904) 20. Die Bedeutung guter Durchlüftung für das Wachstum von Fäulnisbakterien zeigt u. a. O. Rahn, Zentralbl. Bakt. (2) **35**, 443 (1912).

bzw. Magnesiumsalze aus. Die Karbolsäure kann hier nicht, wie man vielleicht zunächst meinen könnte, etwa selbst kohlensauren Kalk auflösen, da sie weit „schwächer“ ist, als die Kohlensäure, diese demnach nicht aus ihren Verbindungen auszutreiben vermag.[1])

Nachträglich sei noch bezüglich des Auftretens der Gare bei Ackerboden auf die schon früher gegebenen Ausführungen zurückgegriffen, nach denen außer dem Frost z. B. ein häufiger Wechsel zwischen Austrocknen und Befeuchtung zumal kolloidreicheren, schwereren Boden für den Eintritt der Gare günstig zu beeinflussen vermag. Besonders in wärmeren Gegenden muß Schwinden und Quellen recht erhebliche Volumveränderungen herbeiführen, und daß es in solchen Fällen zur Bildung von Spalten und zum Hineinsinken von Bodenteilchen in dieselben selbst ohne Kulturmaßnahmen kommen kann, wurde oben erwähnt. So wird es uns denn nicht wundernehmen, wenn man dort, wo der Winterfrost in seiner Wirkung für den Boden gewissermaßen durch die größere Hitze- und Austrocknungswirkung der Sonne ersetzt wird, in den Tropen, die Gare des Bodens auf das Austrocknen desselben zurück führt.[2]) Konnten doch auch wir bereits Austrocknungswirkungen für die Entwicklung des Garezustandes mit heranziehen. Und wenn Suringar weiter auf Java die Gare am schnellsten bei wiederholter, aber nicht zu reichlicher Befeuchtung eintreten sah,[3]) so wurden dadurch ebenso für Bildung der nötigen doppeltkohlensauren und salpetersauren Erdalkali-

[1]) Neuzeitlich ausgedrückt würde dies besagen, daß die Kohlensäure in Wasser stärker dissoziiert ist, mehr Ionen bildet als die Karbolsäure oder, wie man sie auch bezeichnet, das Phenol. Das beweisen die Ergebnisse der Leitfähigkeitsmessung, welche ergaben:

für Essigsäure	K = 0,0018
für Kohlensäure	K = 0,0000304
für Schwefelwasserstoff	K = 0,0000057
für Phenol	K = 0,00000013

In zehntelnormaler Lösung ist die elektrolytische Dissoziation demnach für:

Salzsäure	91,4 %
Essigsäure	1,3 %
Kohlensäure	0,174 %
Schwefelwasserstoff	0,075 %
Phenol	0,0037 %

Vgl. W. A. Noyes, Organische Chemie (Leipzig 1907) 181.

[2]) Vgl. noch I. Behrens, Mitteil. Deutsch. Landw.-Ges. **19**, 182 (1904); ebenso Angaben von Kulturmaßnahmen beim Zuckerrohranbau auf Java von J. D. Kobus, zit. bei A. Mitscherlich, Bodenkunde, 3. Aufl. (Berlin 1913) 233.

[3]) Ebendort bei I. Behrens zitiert.

salze, wie für die Zerkleinerung der in Einzelstruktur befindlichen Bodenschollen durch Quellen und Schwinden, wie endlich für die Ausfüllung gröberer Bodenhohlräume durch ausgeflockte Kolloide und was weiter an ähnlichen Vorgängen in Betracht kommt, die günstigsten Bedingungen geschaffen.

Nähere Forschung wird auf diesem Gebiete gewiß noch manches deuten und richtig stellen. Die Grundlinien aber einer wissenschaftlichen Erklärung des Garezustandes und seiner Bedingungen dürften jetzt zum erstenmal vorliegen.

Daß die sog. Beschattungsgare wieder andere Anforderungen an die Darlegung stellt, sei hier nur kurz bemerkt. Sie wird weiter unten ihre Behandlung finden.

Im Anschluß an das soeben Gesagte muß nun darauf hingewiesen werden, daß zu der von mir gebrachten Erklärung des Garezustandes und seiner Bildung durchaus die altbekannte Erfahrungstatsache paßt, welche eine weitgehende Zerkleinerung und Pulverisierung des Bodens beim Beackern verwirft.[1]) Abgesehen von der Austrocknung[2]) des Bodens und der damit leicht Hand in Hand gehenden Adsorption von Luft[3]) muß dabei nicht nur eine rein mechanische Zertrümmerung von noch vorhandenen oder schon gebildeten Bodenkrümeln möglich sein; sie würde

[1]) So u. a. schon C. Schulz-Fleeth, Rationell. Ackerbau (1856) 257.

[2]) Beim Austrocknen des Erdbodens kann übrigens noch ein bislang kaum berücksichtigter Umstand gelegentlich einige, aber wohl nur geringe Bedeutung gewinnen: der Kristallisationsdruck sich ausscheidender Salze, der in den Tropen wohl eher Wichtigkeit besitzen dürfte, als unter dem Himmel unseres Vaterlandes. Wenn sich in einem austrocknenden Boden Salze in Kristallform ausscheiden, so wird hierbei ebenso, wie dies oben für das bei Frost auskristallisierende Eis angegeben war, eine gewisse Neigung dafür bestehen, daß sich nicht ungezählte kleine oder kleinste Kristalle bilden. Es werden sich vielmehr besonders an die zuerst entstandenen Kristalle neue Moleküle anlagern und somit weniger, aber größere derartige Bildungen entstehen. Daß man solche Wirkungen des Kristallisationsdruckes von geologischer Seite für nicht unbedeutend erachtet, geht u. a. aus den Angaben von E. Kalkowsky, Isis (1901) 61, 66, 67, 84, hervor. Man vergleiche ferner R. Bunsen, Liebigs Annalen der Chemie **62**, 1 (1847); F. E. Suess, Mittlg. Geol. Gesellsch. Wien, II (1909) 392; W. Bornhardt, Archiv f. Lagerstättenforschung **2**, 213 u. 411 (1910); K. Andrée, Sitzungsber. Gesellsch. Naturw. (Marburg 1911) 1. — Der Kristallisationsdruck kann recht stark sein; Vgl. Becker und D. T. Day, Proc. Wash. Acad. Sciences **7**, 283 (1905). — Sehr wahrscheinlich wird der Kristallisationsdruck im Boden unter ariden Klimabedingungen am leichtesten zu beobachten sein. Doch kann er in den oberen, abtrocknenden Schollen des Ackers sich vielleicht auch einmal bei uns betätigen.

[3]) Oben 250.

doch wohl nur mäßigen Umfang annehmen.[1]) Aber es werden die für die Entstehung der Gare auch so notwendigen gröberen Hohlräume im Boden nicht geschaffen. So kann einmal das Wasser bei Regen nicht schnell von der Oberfläche hinabgeleitet werden, es kommt vielmehr zur Bildung von dort stehenbleibenden Aufschlämmungen,[2]) besonders aber kann auch das Hinabführen von Bodenkrümeln in die unterhalb gelegenen Hohlräume und deren Ausfüllung durch Haufwerke neu gebildeter Krümel nicht genügend in Betracht kommen.

cc) Toter Boden und seine Besserung.

Auch die Warnung, den Acker nicht tiefer zu pflügen, als die Krume reicht, ebenfalls seit alters bekannt[3]) und neuerdings wieder mit besonderem Nachdruck wiederholt,[4]) kann nun besser verstanden werden, seit wir eine einleuchtende Erklärung für die Bodengare besitzen. Nicht nur wird durch eine tiefe Furche aus den Untergrundschichten eine Menge von Bodenkolloiden, dorthin durch jahrhundertelange Hinabwaschung verspült, in die Ackerkrume gebracht, so daß deren Bedarf für Adsorption von ausflockenden Salzen wesentlich steigt, soll der Boden günstige Beschaffenheit erlangen; es wird gleichzeitig sowohl die Menge der kohlensäure- und salpetersäurebildenden Kleinlebewesen wie deren Nahrung, die Humusstoffe, in einem viel größeren Bodenvolum verteilt und so gewissermaßen verdünnt.[5]) Die Folge ist, daß mit erheblich gesteigertem Bedarf an löslichen Kalksalzen geringere Bildung derselben zusammengeht. Wie dies auf die Bemühungen, eine ausreichende Bodengare zu erzielen, einwirken muß, können wir uns nach dem oben Gesagten vorstellen.

Ist nun aber das Hilfsmittel, das zur Gesundung eines solchen durch aufgepflügten toten Boden geschädigten Ackers empfohlen wird, gleichfalls vom Standpunkt der neuen Erklärung der Bodengare zu verstehen? Ich sollte meinen; denn schon vor anderthalb Jahrhunderten empfahl man in solchem Fall Gaben von Stalldünger und Kalk,[6]) sowie den Frost.[7])

---

[1]) Wenigstens soweit es sich um Pflugwirkungen handelt; über die Egge wird noch zu sprechen sein.

[2]) Und später etwa Krusten.

[3]) F. Home, Grunds. d. Ackerbaues, übers. I. C. Wöllner (Berlin 1763) 152.

[4]) G. Vibrans-Wendhausen, Mitteil. Deutsch. Landw.-Ges. **19**, 115 (1904).

[5]) Wie solche Fälle sich gelegentlich in der Praxis ereignen, und zu welchen Folgen sie führen können, zeigt P. Ehrenberg, Landw. Jahrb. **33**, 17, 23 ff. (1904), wo freilich noch andere Umstände eine wichtige Rolle spielen.

[6]) F. Home, a. a. O. 33.

[7]) Z. B. W. Schumacher, Physik in Anwend. a. Agrikult. u. Pflanzenphys. **1**, 334 (1864).

Und auch heute wird dies in der Regel der Weisheit letzter Schluß sein. Man gibt dadurch dem Boden die beste Gelegenheit, durch die aus dem Stalldünger entstehende Kohlen- und Salpetersäure Kalk in Lösung zu bringen und von dieser Richtung aus günstig auf den Verlauf der Gare zu wirken. Auch die vorteilhafte Wirkung von Kalkgaben, von der die englischen Landwirte des 18. Jahrhunderts[1]) sagten, daß „sie den Acker gelinde mache",[2]) ergibt sich hierdurch, wenn man rohen, schweren Boden im Auge hat, wenngleich damit natürlich die mannigfachen Einflüsse sowohl des Stalldüngers wie des Kalkes noch bei weitem nicht erschöpft sind. Die Bedeutung der Frostwirkung für die günstige Veränderung der Bodenkolloide ist ja bereits eingehend gewürdigt worden.

f) Neubildung von Bodenkolloiden.

Als weitere Wirkung des Pfluges sei hier die Neubildung von Bodenkolloiden erwähnt. Freilich ist davon nur sehr wenig bekannt, und man darf füglich als Ursache solcher Neubildung nicht sowohl die Tätigkeit des Pfluges allein, als vielmehr überhaupt die gesamte Ackerbearbeitung, ja besser wohl den Ackerbau in seiner Gesamtheit ansehen. Beweise oder auch nur Untersuchungen, welche solche Wirkungen zum Gegenstand haben, mangeln, wie so sehr vieles auf dem Gebiete der Bodenkunde, noch völlig, wenn man nicht eine gelegentliche Beobachtung von G. Berendt heranziehen will. Dieser glaubt in den Werten eines Bodenprofiles den deutlichen Beweis dafür erblicken zu dürfen, daß eine Neubildung von bildsamem Ton als Endprodukt der Zersetzung verschiedener Tonerdesilikatverbindungen in erhöhtem Maße unter dem Einfluß des den Boden bearbeitenden Menschen in der Ackerkrume stattfindet.[3]) Bei den heutigen Anforderungen an die Sicherung experimenteller Nachweisungen würde man mit der einen Beobachtung ohne Parallelunter-

[1]) F. Home, a. a. O. 64.

[2]) „It sweetens the soil", eine deutliche Kennzeichnung der Gare.

[3]) Vgl. auch oben 123, Mohrs Angaben; G. Berendt erhielt — Umgegend v. Berlin, I: Nordwesten Abh. geolog. Spezialkarte Preußen 2, Heft 3, 97 (1877) — nämlich folgende Werte:

	Nr. 23			
	Teilchendurchmesser			
	über 2 mm	2 bis 0,05 mm	unter 0,05 mm	bildsamer Ton
Bearbeitete Oberkrume, d. h. Ackerkrume, 0,25 m tief	3	84,3	10,5	2,2
Unbearbeitete Oberkrume, Ackerboden	9,1	79,2	10,6	1,8
Nächster Untergrund	1,8	71,6	20,1	5,8

suchung, die noch dazu nur geringe Unterschiede zeitigte, kaum einen auch nur von weitem angenäherten Beweis erbringen können. Trotzdem ist nach allem, was wir über die Verwitterung und Zersetzung wissen, die Ansicht von G. Berendt wahrscheinlich doch innerhalb gewisser Grenzen richtig.

g) Andere Pflugarten u. dgl.

Daß die Arbeit des Häufelpfluges in mehr als einer Hinsicht der Wirkung des gewöhnlichen Pfluges auf den Boden ähnlich ist und auch hier eine freilich nur oberflächliche Art von Gare zu schaffen vermag,[1]) ist für den Praktiker nichts Neues Da indes hierbei noch mancherlei andere Umstände zu beachten sind, muß diese Wirkung der besonderen Pflugart im Zusammenhang mit dem ganzen Einfluß der sog. Hackfrüchte auf den Boden später besprochen werden.

Über den Untergrundpflug ist gleichfalls nicht viel zu sagen. Erst wenn die Wirkung des Pfluges selbst durch die heutige Wissenschaft genügend aufgeklärt sein wird — woran leider noch recht viel fehlt — wird man die Sonderarten dieses unseres Hauptackerwerkzeuges in gleicher Weise prüfen können. Der Untergrundpflug wird die in tieferen Schichten seit langer Zeit infolge der Durchschlämmung angehäuften Bodenkolloide nicht emporbringen und dadurch zwar die bereits erwähnten Gefahren der Heraufbeförderung rohen Bodens nicht erscheinen lassen, vermag aber auch aus demselben Grunde nichts gegen das Durchschlämmen an sich zu tun, wenn er auch durch Aufschließung der tiefen Schicht die Möglichkeit begünstigt, daß leicht lösliche Kalksalze dort ihre nützliche Wirkung ähnlich wie in den höheren Schichten ausüben.

Insoweit er etwas gröbere Hohlräume in den tieferen Bodenschichten schafft, gibt er die Möglichkeit, daß in dieselben Bodenkrümel hineingewaschen werden, wie dies mehrfach besprochen wurde, und schafft dort auf diese Weise eine mehr oder weniger schwache Andeutung von Gare.

Je schneller die Arbeit des Pfluges von statten geht, desto lockerer wird die Aufschüttung der Furche erfolgen. Es liegt nach dem Gesagten auf der Hand, daß hierdurch die Gare, aber auch die Durchschlämmung gefördert werden kann, falls der letzteren nicht durch ausflockende Salze entgegengearbeitet wird. Die zumeist günstigen Erfolge der schneller arbeitenden Pflüge, die durch Kraftmaschinen getrieben sind, lassen sich so verstehen, besonders die guten Wirkungen des Dampfpfluges auf das Bodengefüge. Ob aber nicht der schwere Kipppflug wieder

[1]) Vgl. W. Schumacher, Ackerbau (Wien 1874) 188.

den Grund der Furche stärker zusammendrückt, und inwieweit vielleicht noch andere Umstände mit dieser Art der Pflugarbeit zusammenhängen, ist leider noch nicht ausreichend bekannt.

Ganz anders als der Pflug wird durch die Bodenfräs- oder Landbaumaschinen das Land bearbeitet. Bereits über die alten, in den fünfziger Jahren ausgestellten Bodenfräsmaschinen[1]) finden sich derartige Hinweise. So erwähnt Stephens[2]) schon für die alte Bodenfräsmaschine von Usher aus dem Jahr 1849, daß ihre Wirkung der eines Pfluges sehr ungleich ist. „Anstatt der Arbeit eines Streichbrettes zeigt sich vielmehr die Wirkung einer breiten, scharfen Haue, die mit großer Kraft einige Zoll tief durch den Boden geführt wird, diesen zersplittert und hinter die Maschine wirft. Zerreibbarer Boden wird dabei vollkommen pulverisiert." Von der Fräsmaschine A. Mechwarts[3]) liegen leider nur allgemein gehaltene Angaben über Ertragserhöhung vor, keine über die Gestaltung des Bodengefüges unter ihrem Einfluß. Heute kommen wohl nur der Landbaumotor von Köszegi[4]) und die Bodenfräsmaschine K. von Meyenburgs[5]) in Betracht.

Nach den Beobachtungen F. Bornemanns[6]) am Landbaumotor von Köszegi war das von ihm bearbeitete Land für bindigere Böden unbedingt in ein günstigeres Bodengefüge überführt worden, als dies die gewöhnliche Bearbeitung geleistet hatte.[7]) Für Sandböden schränkt F. Bornemann diese Angabe nicht unerheblich ein. Einen Beweis für seine Behauptungen hat dieser Forscher aber für den Agrikulturchemiker oder landwirtschaftlichen Wissenschaftler, der gewöhnt ist, an die Beweisführung einigermaßen höhere Anforderungen zu stellen, noch nicht zu erbringen vermocht. Ganz abgesehen davon, daß die gesamten Ergebnisse in dem Ausnahmejahr 1911 zu 1912 erzielt worden sind und so zu allgemeinen Schlüssen so ungeeignet wie möglich erscheinen, ist eine wirkliche Parallelausführung der Untersuchungen eigentlich stets unterblieben. Die angewandte Methode

[1]) Vgl. darüber Näheres bei F. Bornemann, Arbeit. d. Landbaumotors, Patent Köszegi (Berlin 1912) 1 u. 2.

[2]) Stephens, Book Farm Implem. Machin. (1858).

[3]) P. Möller, Sonderdr. Zeitschr. Vereins deutsch. Ingenieur. **40**, 6 (1896).

[4]) Von H. Lanz in den Handel gebracht, vgl. F. Bornemann, a. a. O.

[5]) Von den Protoswerken gebaut, vgl. P. Wilhelm, Neuere Erfahrungen über Motorpflüge, Mittlg. D. L. G. 1914, Sonderdruck, 18. — Jetzt durch die Siemens-Schuckertwerke in Weiterbildung und Durchkonstruktion begriffen, vgl. H. Holldack, Jahrb. d. D. L. G. (1912) 214.

[6]) F. Bornemann, a. a. O. 32.

[7]) Nach B. Tacke, Mittlg. Ver. Förd. Moorkultur **33**, H. 12 (1915), ist der Landbaumotor in seiner verbesserten Form für Moorkultur außerordentlich geeignet.

der Feststellung der Veränderungen des Bodengefüges ist nicht auf die mit ihr notwendigerweise verbundenen Fehler und deren Größe geprüft worden. Ganz besonders aber läßt sich aus der nur ungenau in groben Zügen durchgeführten Behandlung der ganzen Frage bei F. Bornemann nicht annähernd ersehen, welche Folgen die dauernde Benutzung einer Bodenfräsmaschine vielleicht nach sich ziehen kann. Ausblicke derart hätten sich möglicherweise auch schon nach einmaliger Bearbeitung des Landes annähernd erreichen lassen, wenn man die vorhandenen Methoden, u. a. die Schlämmanalyse, sinngemäß angewendet hätte. Bevor aber derart uneingeschränkte Urteile ausgesprochen wurden, wie sie sich am genannten Orte finden,[1]) wäre doch wohl jedenfalls eine mehrjährige, mannigfaltige und exakte Versuchsdurchführung notwendig gewesen, die hoffentlich inzwischen weiter angestrebt und ausgebildet worden ist.

Damit soll übrigens durchaus nicht gesagt sein, daß nicht die Bodenfräsmaschine gegenüber der bisherigen Art der Bodenbearbeitung Vorteile aufweisen könnte, zumal in Gegenden, welche der wohltätigen Wirkung des Winterfrostes auf den Boden entbehren müssen, und unter Trockenheit während der Wachstumszeit leiden. Nur wären weitgehende und mit allen Hilfsmitteln der wissenschaftlichen Methodik gegen Trugschlüsse gesicherte Untersuchungen erforderlich. Was man teils aus der Art der Arbeit des Landbaumotors, teils aus der Schrift F. Bornemanns, endlich aus noch unveröffentlichten Beobachtungen H. Holldacks an der K. v. Meyenburgschen Bodenfräsmaschine[2]) mit Vorbehalt als für den Erfolg der Bodenbearbeitung mit Bodenfräsmaschinen in der hier maßgebenden Richtung wahrscheinlich ansehen darf — bis genauere Versuchsdaten vorliegen — ist das Folgende:

Die Bodenfräsmaschine wird den Boden im Vergleich zum Pflug weniger wenden. Eine gewisse Durchmischung tritt freilich unzweifelhaft ein, wobei die Arbeitstiefe der Maschine wichtig sein dürfte, wohl kaum aber die Umkehrung oder Umdrehung des Bodens, wie sie der Pflug mehr oder weniger umfassend leistet. Sie bietet also anscheinend gegen die Gefahren der Durchschlämmung in dieser Richtung bei weitem weniger Sicherheit. Es würde sich gegebenenfalls, wenn nähere Untersuchungen wirklich ungenügende Beeinflussung des Bodens in dieser Hinsicht erweisen sollten, als Gegenmittel empfehlen, der Anwendung des Landbaumotors

[1]) Vgl. F. Bornemann, a. a. O. 40.

[2]) Herrn Kollegen H. Holldack bin ich für dessen sehr freundliche Mitteilung zur Vervollständigung dieses Buches zu besonderem Danke verpflichtet.

oder der Bodenfräsmaschine nicht zu selten, wenigstens alle paar Jahre einen tiefer gehenden und vor allem gut wendenden Pflug folgen zu lassen.

Allerdings scheinen Anzeichen vorzuliegen, die aus anderen Gründen eine Gefahr gesteigerten Durchschlämmens bei den neuen Ackerbaumaschinen geringer erscheinen lassen. Man möchte nämlich annehmen, daß aus noch nicht genau festzustellenden Gründen dieselben den Boden in besseres Krümelgefüge überführen als für gewöhnlich der Pflug.

Wenn dieser nämlich auf schweren Böden — nur für diese scheint der erwähnte Vorzug der Ackerbaumaschinen in Frage zu kommen — seine Arbeit leistet, so hobelt er gewissermaßen unter Drehung dicke Erdspäne ab, die bei nicht besonders günstigen Feuchtigkeitsverhältnissen nur wenig zerbröckeln, so daß der Frost in bereits besprochener Weise, und daneben die sonstigen Wirkungen des Wetters, der Düngung u. dgl. viel zu tun haben, um eine einigermaßen ausreichende Bodengare zustande zu bringen. Die Bodenfräsmaschinen dagegen vermögen nach Bornemann bei bindigeren Böden ein recht vollendetes Bodengefüge zu liefern. Auch nach Angaben Holldacks wird durch die v. Meyenburgsche Maschine eine sehr lockere, von der Sohle bis zur Oberfläche ziemlich gleichmäßige Schicht geschaffen, wobei sich ein Gemenge von Klumpen und Krümeln von Kinderfaustgröße bis zu Nuß- und Erbsengröße, und weiterhin, ein geringer Anteil von etwa 10 %, als Feinerde ergibt. Die gröberen Brocken liegen mit Vorliebe in größerer Menge oben, was ja nur sehr günstig wäre. Die Mengenanteile der verschiedenen Größenklassen sind von Konstruktion und Einstellung der Maschine, zumal von Form und Bewegung der einzelnen Fräswerkzeuge abhängig, weshalb zwischen der Arbeitsqualität verschiedener Fräsmaschinen unterschieden werden muß. Ferner ist natürlich Zustand und Art des Bodens wichtig. Der Anteil der bis zur Einzelkonstruktur aufgelösten Erdmengen ist jedoch bei bindigeren Böden ein sehr geringer. Selbst sehr wenig bindige Böden behalten weitgehend Krümelstruktur. — Da von beiden Bodenfräsmaschinen die gleichen Mitteilungen vorliegen, so wird an der Tatsache einer recht lockeren, indessen nicht bis zur Einzelkonstruktur gehenden Lagerung beim Bearbeiten mittlerer bis schwererer Böden durch sie nicht zu zweifeln sein. Bei Sandböden, namentlich bei humosen Sandböden, mag vielleicht eher die Gefahr einer stärkeren Krümelzerstörung, verbunden unter Umständen mit merkbarer Luftadsorption [1]) und deren schädlichen Folgen, vorliegen; wenigstens scheinen in dieser Richtung von Bornemann weniger günstige Erfahrungen gemacht zu sein, [2]) während Holldack Kenntnisse über die

[1]) Vgl. den Abschnitt hierüber oben 250 u. f. — [2]) A. a. O. 40.

Bearbeitung des ausgesprochenen Sandbodens noch nicht gesammelt hat; dies würde indessen ein so erheblich wichtiger Umstand nicht sein, da die Bodenfräsen doch sicherlich ihre Hauptverwendung kaum auf den leichten, sandigen Böden suchen werden. Übrigens werden bei der K. v. Meyenburgschen Fräsmaschine die Bodenteile nicht besonders stark emporgeschleudert, noch nicht 10 % über ½ m, vielleicht 40 % bis zu dieser Höhe und 50 % so gut wie gar nicht. Daher wird, wenn die Bearbeitung zu rechter Zeit geschieht, auch die Gefahr umfangreichen Verstäubens des Erdreiches und damit der unerwünschten Luftadsorption geringer werden. Bei Sand würde allerdings gewiß besonders auf einen günstigen, nicht zu trockenen Zustand des Bodens geachtet werden müssen.

Zu der lockeren Lagerung gefrästen Ackers kommt weiter nach Holldack die auffallende Erscheinung, daß das losere Gefüge sich bemerkenswert lange erhält,[1]) der Boden sich nur sehr langsam setzt. Holldack sagt hierzu:[2]) Dies nimmt nicht wunder, da große schädliche Hohlräume, wie sie eine gepflügte, schollige Krume aufweisen kann, nicht vorkommen, ein Setzen also auch nicht notwendig ist. Die Zwischenräume zwischen den großen Krümeln sind durch kleinere und wieder kleinere angefüllt, und so findet jedes Erdbröckel soviel Berührungs- und Auflagepunkte an den benachbarten, daß der Widerstand gegen das Niedersinken sehr groß ist; der Boden hat große „innere Reibung" Das dürfte auch einer der Gründe dafür sein, daß gefräster Boden, entgegen der allgemein gehegten Befürchtung, nicht verschlämmt. Ein weiterer Grund hierfür könnte darin gesucht werden, daß der Fräsboden, dank seinem durch und durch krümeligen Gefüge, die Niederschläge wie ein Schwamm sehr rasch aufnimmt und in tiefere Schichten absickern läßt; die Gefahr des Auflösens und Hinabwaschens von Kalksalzen aus den oberen Bodenschichten, durch die den Bodenkolloiden ihre krümelbildenden Fähigkeiten geraubt werden würden, ist infolgedessen gering.

Wir haben hier eine zweifellos eigenartige und überraschende Eigenschaft der mit Fräsmaschinen bearbeiteten Ackerstücke vor uns, denn auch F. Bornemann weist auf das Erhaltenbleiben der lockeren Beschaffenheit des Bodens,[3]) auf das Ausbleiben von Verschlämmung[4]) und das eigentümliche, schwammartige Gefüge des gefrästen Bodens[5]) hin.

---

[1]) Unterschiede waren noch nach Jahresfrist zu beobachten.

[2]) Wie alle auf ihn bezüglichen Mitteilungen hier nach freundlicher, persönlicher Mitteilung.

[3]) F. Bornemann, a. a. O. 31, 33, 39/40.

[4]) A. a. O. 40.

[5]) A. a. O. 37.

Auch Krustenbildung[1]) stellt sich nach beiden Forschern bei gefrästen Böden kaum ein, vielmehr ist die Widerstandsfähigkeit gegen das Verschlämmen bei gefrästen Böden eine weit großere, als bei Pflugkultur [2]) Hierfür wird der nachweislich als Folge des Fräsens auftretende, bessere Wasserabfluß [3]) aus den obersten Schichten der bearbeiteten Krume als wesentlich anzusehen sein, daneben noch sogleich zu behandelnde Umstände.

Ich möchte nämlich als Ursache für eine derartige, offenbar sehr günstige Gestaltung des Bodengefüges den Umstand annehmen, daß nicht, wie bei der Pflugkultur, zunächst größere Stücke und Schollen des Bodens einer Zerkleinerung entgehen. Das bedingt eine lockere Aufschüttung der bearbeiteten Erde. Man kennt diese Erscheinung ja bereits von der schnelleren Arbeit des Dampfpfluges in gewissem Umfange,[4]) da der schneller und höher umgelegte Boden bei diesem auch mehr Gelegenheit hat, sich zu zerkleinern und zu zerbröckeln, als beim langsam gehenden Gespannpflug, gleiche Verhältnisse natürlich vorausgesetzt. Gerade in den zumeist feuchteren Monaten, welche wesentlich in unserer Heimat für die Ackerkultur in Betracht kommen, wird nun die Bakterientätigkeit ganz wesentlich von der Lockerheit des Bodens und der damit zusammengehenden Möglichkeit einer guten Luftzuführung und Erwärmung abhängen, sowie von ausreichender Ableitung überflüssigen Wassers, da dies alles die für das Bakterienleben grundlegend bedeutungsvolle Erwärmung des Bodens fördert. Somit ist wahrscheinlich in der Zeit bald nach der Tätigkeit der Bodenfräsen die Kohlensäurebildung durch Kleinlebewesen — eine andere kommt ja in eben bearbeitetem Acker nicht in Frage — eine ganz wesentlich stärkere. Vermehrte Bildung von löslichem, saurem kohlensaurem Kalzium mit all seinen an anderer Stelle behandelten, günstigen Einwirkungen auf das Bodengefüge muß die Folge sein. Besonders wird unter anderem die Festigung entstehender, oder noch vorhandener Bodenkrümel eine recht gute sein können, da die so lockere Lage und die von Bornemann hervorgehobene, starke kapillare Tätigkeit gefräster Böden[5]) voraussichtlich auch in weiterem Umfange auf die

[1]) A. a. O. 17.

[2]) A. a. O. 17/18, vgl. auch Anm. 2 auf voriger Seite.

[3]) Man vgl. dazu auch den sehr berechtigten Hinweis von W. Strecker, Arbeiten der Landwirtschaftskammer für die Provinz Hannover **30**, 120 (1911), der uns darlegt, daß das Verschlämmen auf das engste mit der Fähigkeit des darunter liegenden Bodens, Wasser aufzunehmen, zusammenhängt. Auch ich habe bei Gelegenheit ähnliche Hinweise gegeben.

[4]) Vgl. auch oben 516.

[5]) A. a. O. 40.

Verkittung der Bodenkrümel durch feine Überzüge von kohlensaurem Kalk hinwirken dürften, wie solche von dem unter ähnlicher, lockerer Lage entstandenen Löß bekannt sind. Damit würde auch zum Teil das geringe Kleben gefrästen Bodens zusammenhängen können, das beobachtet wurde. So vermag die durch das Bodenfräsen geschaffene, lockere Lagerung anscheinend durch diese Umstände begünstigt, sich lange zu erhalten, beziehungsweise wird sie auch durch allmähliche Verminderung der günstigen Gefügeverhältnisse bei weitem nicht so rasch in den Zustand verhältnismäßig dichter Lage zurückkehren, wie das bei dem durch den Pflug nur in merkbar geringerem Umfang zerbröckelten und locker aufgeschütteten Boden der Fall ist. Eine fortschreitende Verringerung der losen Lagerung ist natürlich trotzdem zu erwarten. Aber der das Wasser stark aufnehmende Boden bietet durch diese Eigenschaft wieder der Tätigkeit des Frostes ein günstigeres, ausgedehnteres Feld, so daß er auch im Winter berechtigte Aussichten haben kann, in seinem lockeren Gefüge zu verbleiben und derart die Winterfeuchtigkeit in erhöhtem Maße aufzuspeichern. — Daß damit dann andere Anforderungen an Zeitpunkt und Art der Frühjahrsbearbeitung gegeben werden, kann nicht überraschen.[1]) Ist doch auch die bloße Oberfläche in rauher Furche von der Pflugbearbeitung her daliegenden Landes wahrscheinlich eine merkbar größere, als die glatt gefrästen Ackers, so daß hierdurch, wie auch durch andere Sonnen- und Windwirkung auf die Furchen die Verdunstung eine stärkere sein dürfte, obwohl voraussichtlich auch noch andere Umstände in Betracht kommen. Auch langsameres Auftauen des in etwas tieferen Schichten des Ackers beim gefrästen Boden in größerer Menge angesammelten, gefrorenen Wassers kann derart unter anderem vielleicht eine Rolle spielen.

Als wichtig möchte ich es ansehen, daß gefräster Boden einen ausreichenden Vorrat an kohlensaurem Kalk, sei es durch Düngung oder von Natur her, besitzt. Denn dieser Bodenbestandteil wird fraglos in der in diesem Buche an verschiedenen Orten dargelegten Weise einen wesentlichen Anteil an den günstigen Erfolgen des Bodenfräsens, die doch in mannigfacher Weise in Erscheinung zu treten scheinen, besitzen. Damit dürfte freilich auch eine möglicherweise verstärkte Auswaschung von Kalk zusammenhängen und so höhere Anforderungen an den Kalkgehalt des Bodens gestellt werden; ganz ausgeschlossen ist es freilich nicht, daß die stärkere Fähigkeit gefrästen Bodens, Wasser zu halten, auch als Mittel gegen die verstärkte Auswaschung von Nährsalzen aus dem Boden

[1]) F. Bornemann, a. a. O. 37.

auftritt, was natürlich eine besondere Bedeutung gewinnen könnte. Fehlt es freilich an kohlensaurem, leichter löslichem Kalk im Boden, oder treten, etwa nach starken Chilesalpeterdüngungen, schädliche Salze, Soda, in der Erde auf, so kann möglicherweise sehr leicht die Schädigung des Bodengefüges größeren Umfang annehmen, als auf gewöhnlich bearbeitetem Land.

Bislang sind natürlich alle diese Ausführungen über das durch Bodenfräsmaschinen erreichbare Bodengefüge und die zur Erklärung gegebenen Anschauungen durchaus als vorläufige anzusehen.

Die mit der Bodenfräsmaschine bearbeiteten Feldstücke werden, da sie schon weitgehend gekrümelt in den Winter hineingehen, die günstigen Wirkungen des Winterfrostes vielleicht weniger deutlich zeigen, aber wahrscheinlich auch weniger bedürfen, als Pflugland. Es ist möglich, daß die Bodenfräsmaschine gerade dort, wo aus irgendwelchen Gründen von der günstigen Wirkung des Frostes auf in rauher Furche liegendes Land kein Gebrauch gemacht werden kann, eine besondere Zukunft hat. Aber erst eingehende und nicht in kurzer Zeit zu erledigende Untersuchungen würden hier Auskunft geben und sichere Grundlagen schaffen können. Hoffentlich werden wir auch in absehbarer Zeit solche erhalten, obwohl leider ja bisher nicht einmal die Wirkung unseres gewöhnlichen Pfluges auf den Acker ausreichend und modern wissenschaftlich bearbeitet worden ist. Experimentalarbeiten, welche eine wirkliche Bereicherung unseres Wissens über den Ackerbau und seine so wichtigen Fragen bedeuten, erscheinen ja heute kaum noch gelegentlich in großen Zwischenräumen,[1]) sehr im Gegensatz zu den vielen über Ackerbaulehre gehaltenen Vorlesungen und Vorträgen.

2. Eggenarbeit.

a) Lockerung.

Wenn der Pflug zunächst einen Erdstreifen abschnitt und denselben dann mehr oder weniger zertrümmerte, um ihn weiterhin gewendet und gemischt in lockerer Schüttung wieder niederzulegen, so arbeiten die Egge und die ihr bezüglich ihrer Wirkung verwandten Ackergeräte zunächst nur auf Lockerung und Mischung des Bodens hin, dann aber auch auf seine Zertrümmerung in etwas anderer Art, als beim Pflug.

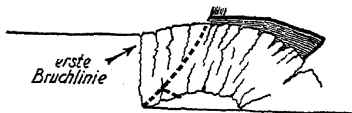
Der Pflug schnitt den Erdstreifen ab und brach ihn nur durch die

[1]) Als wertvoller Ausnahmen in den letzten 20 Jahren sei u. a. einzelner Arbeiten von H. Rodewald-A. Mitscherlich, Th. Pfeiffer und C. von Seelhorst gedacht.

Hebung gewissermaßen in sich, worauf beim Wenden eine weitere Zerkleinerung folgte.[1]) Immerhin war diese Wirkung der Zertrümmerung beim Pfluge gegenüber dem Abschneiden wohl nur eine geringere.

Ganz anders bei der Egge. Hier treffen viele Zähne die im Acker vorhandenen Klumpen und Krümchen, die nicht leicht ausweichen können, da sie ringsherum von Boden[2]) umgeben sind. So kommt es zu einem Zusammenstoßen mit den eisernen Zinken, dem dann ein nach Oben- oder nach der Seite-Drängen folgt. Weniger feste Haufwerke und Krümel werden dabei leicht zerfallen, und zwar um so mehr, als die fortgedrängten Bodenanhäufungen dabei aneinander noch mehr oder weniger zerrieben werden können. Besonders sichtbar ist das an der Bodenoberfläche und ja als eine der Wirkungen der Egge bekannt.

Es kann aber nicht wundernehmen, daß auch überhaupt in den höheren Schichten des Ackers, soweit eben die Egge zu wirken vermag, eine Vermehrung der kleineren Bodenkrumen und -krümchen auf Kosten der gröberen eintritt. Das kann erwünscht und notwendig, und, was unser Gebiet hier anlangt, auch für den Eintritt der Gare erforderlich sein, wenn der Boden noch viele gröbere Klumpen enthielt, die von früher her sich aus eng aneinander gelagerten Bodenteilchen zusammensetzen und der auflockernden Wirkung des Frostes oder der Pflugtätigkeit usw entgangen waren. Aber diese zerkleinernde, den Zusammenhang verklebter Bodenanhäufungen zerstörende Wirkung der Egge kann sich auch auf die Bodenkrümel äußern, die wir als Grundlage des Garezustandes kennen und schätzen. Ihr Zusammenhang ist bei aller Widerstandsfähigkeit doch nur ein verhältnismäßig geringer, und wohl noch mehr als die Stöße der Eggenzinken zerbricht und zerreißt sie die Reibung an den anderen Bodenteilen, wenn sie dem nach vorwärts und oben gerichteten Zuge der Zinken nachgeben müssen.

[1]) Genauer wird hierüber bei W. Schumacher, Der Ackerbau (Wien 1874) 85, gesprochen, man möge die dortigen Mitteilungen vergleichen. Hier sei nur, um die Angaben oben zu verdeutlichen, eine kleine Zeichnung gegeben: Die brechende Wirkung des Pfluges auf den von ihm gehobenen und abgeschnittenen Bodenstreifen schematisch gezeichnet. Natürlich spielen die jeweiligen Feuchtigkeitsverhältnisse des Bodens, wie überhaupt seine ganze Art, eine wesentliche Rolle.

[2]) Dieser ist zwar einigermaßen locker gelagert, da man ja die Egge zumeist nur auf so beschaffenem Lande verwenden wird, gibt den in ihm befindlichen Teilchen aber doch nur einen geringen Spielraum zum Ausweichen, man kann wohl sagen fast gar keinen.

Es kommt dabei noch ein weiterer Umstand hinzu. Die schwach oder stärker nach vorn gekrümmten Eggenzinken heben, wie bereits erwähnt wurde, die Bodenteile auch empor. Dabei werden besonders die gröberen Stücke und Klumpen erfaßt und hochgebracht werden, die entweder schon vorhandenen oder von größeren Anhäufungen abfallenden feineren Teile aber, welche der Eggenzinken nicht erfassen kann, rieseln nach unten. Die rüttelnde Tätigkeit der Egge fördert dies und es kann derart gewissermaßen zur Bildung von zwei Schichten im Boden kommen, nämlich von obenauf liegenden gröberen Klößen und Klumpen und dann von unter ihnen zusammengerüttelten und zusammengerollten feineren und feinen Teilchen. Das mag einmal nicht nur erträglich sein, sondern sogar günstige Wirkungen haben. Sehr häufig aber wird in der aus feineren Teilchen zusammengesetzten Schicht so manches Bodenkrümel schon ganz oder größtenteils in seine einzelnen Bestandteile aufgelöst oder wenigstens so weit zerstoßen und zerrieben sein, daß der Zusammenhang nur noch ein äußerst geringer ist. Um so mehr, je kräftiger man die Egge wirken ließ. Tritt dann Regenwetter ein, so schützen zwar die obenauf liegenden Brocken vor dem Regenaufprall, aber es bedarf eines solchen auch gar nicht mehr, um die Krümelstruktur in der Schicht feiner Teile zu zerstören. Dauert der Regen länger, so werden die den Boden ausgeflockt erhaltenden Kalksalze leicht in tiefere Gegenden der Ackerkrume gespült, und nun zerfällt der schon halb zerstörte Zusammenhang der einzelnen Bodenkrümel von selbst, das hinabsinkende Wasser lagert die auseinandergefallenen Teilchen eng aneinander, und unter der von gröberen Erdklößen bedeckten Oberfläche hat sich der Boden in unerwünschtester Weise „geschlossen“ Schon A. v. Rosenberg-Lipinsky[1]) und W. Schumacher[2]) haben auf ähnliche Folgen einer zu kräftigen, zu fleißigen Benutzung der Egge und ihr verwandter Hilfsmittel hingewiesen. Auch P. Kostytscheff[3]) sagt von der Schwarzerde: „Alle Beobachtungen zeugen davon, daß die Produktivität der Tschernosiomböden schroff herabgesetzt wird, wenn man ihre Struktur durch übertriebene und unrichtige Bearbeitung zerstört.“ — Da wir hier nicht alle Ackergeräte besonders besprechen können, sondern nur einzelne als Vertreter herausgreifen, so seien hier, als der Egge in ihrer Wirkung verwandt, der Grubber, Krümmer, die Schotte[4]) usw., auch der neuzeitliche Federzahnkultivator genannt.

---

1) A. v. Rosenberg-Lipinsky, Prakt. Ackerbau 2, 210 (1890).
2) W. Schumacher, Der Ackerbau (Wien 1874) 122.
3) P. Kostytscheff, Schwarzerde (Berlin 1912) 135.
4) Schwere, sog. „schottische“ Egge.

Noch verderblicher kann die Egge wirken, wenn sie dazu benutzt wird, die Oberfläche des Ackers übermäßig fein zu pulvern. Zunächst ist der Vorgang dem soeben geschilderten ähnlich. Die Bodenkrümel werden mehr oder weniger zertrümmert, und statt einer Vermehrung der kleinen, aus feinsten Bodenteilchen zusammengesetzten Haufwerke haben wir eine Vermehrung der einzeln gelagerten Bodenteilchen zu verzeichnen oder wenigstens die weitgehende Lockerung der noch zwischen ihnen bestehenden Verbindungen. Dazu kommt nun aber, da es sich jetzt um an der Oberfläche des Ackers ablaufende Vorgänge handelt, eine starke Austrocknung. Die immer wieder durch die Luft gerüttelten, dabei auch zum Teil emporstäubenden und wieder sich absetzenden feinen und feinsten Bodenteilchen verlieren ihren Wassergehalt, zumal wenn heiße, sonnige Witterung herrscht und adsorbieren statt dessen Luft, wie das ja oben eingehend besprochen wurde.[1]) Ganz besonders das früher in manchen Gegenden beliebte Kreiseggen im Trabe kann so sehr schädlich wirken.[2]) Der Boden ist dann „totgeeggt", die Teilchen seiner obersten Schicht liegen in staubfeiner Beschaffenheit schüttig wie ein Pulver aufeinander, und nehmen Wasser zunächst nicht auf, sondern lassen es, wie Staub von der Landstraße, in Tropfen und Kugeln ablaufen. Kommt es aber bei länger dauerndem Regen zu einer wirklichen Durchtränkung der oberen Schicht, so bildet diese mit dem Regenwasser besonders leicht Aufschwemmungen, und es kommt so bei deren Ablagerung, da die Oberfläche ihre Kalksalze naturgemäß am schnellsten verliert, zur Verkrustung des Bodens. Es erklärt das, weswegen so vielfach vor zu weitgehendem Gebrauch der Egge gewarnt wird und weshalb die Egge besonders einem Boden so sehr schaden kann, der die Gare und Krümelstruktur bereits erreicht hatte. Je schneller die Egge dahinzieht, um so stärker sind entsprechend auch die Stöße und Reibungen der Bodenkrümel gegen die Zinken und aneinander, und um so nachteiliger gegebenenfalls der Erfolg.[3]) — Die anders gearteten, wichtigen Wirkungen der Egge bei der Bearbeitung des Bodens, die sie zu einem unentbehrlichen Hilfsmittel des Landwirtes gemacht haben, sollen dadurch natürlich nicht geleugnet werden. Doch kann hier auf sie nicht eingegangen werden. Dagegen sei noch hervorgehoben, daß mit dem oben erwähnten „Toteggen" des

---

[1]) 246 ff., besonders auch 250.

[2]) A. v. **Rosenberg-Lipinsky**, Prakt. Ackerbau, 7. Aufl., **2**, 18 (Breslau 1890).

[3]) Man vgl., von vielen anderen Forschern abgesehen, z. B. W. **Schumacher**, a. a. O. 128—129, und O. **Pitsch**, Bodenbearb. (Dresden 1884) 88.

Landes der Wind leichter Einfluß auf die feinsten Bodenteilchen gewinnt. Sie sind durch die Luftadsorption bereits mit Gashüllen versehen, liegen also sehr locker aufeinander und bieten daher dem sie aufstäubenden Winde wenig Widerstand.[1])

b) Mischung.

Auch die bisher wenig hervorgehobene Fähigkeit der Ackergeräte, den Boden zu mischen, wird für die Betätigung der Eigenschaften der Bodenkolloide von Bedeutung sein. Hierbei mag übrigens darauf hingewiesen werden, daß unter Umständen nicht nur durch den Menschen geführte Geräte und Maschinen, sondern auch Weidevieh und sogar das Wild sowohl Lockerung wie Mischung des Bodens zu übernehmen vermögen. Besonders sei das Schwein dabei genannt, aber auch die anderen Weidetiere kommen in Betracht.[2]) Naturgemäß können derartige Wirkungen aber nur dort größere Bedeutung gewinnen, wo anderweitige Bearbeitung des Bodens zurücktritt, also unter sehr zurückgebliebenen Kulturverhältnissen, oder im Walde.

Bezüglich der Mischung sei kurz auf das Folgende hingewiesen:

Die Bodenkolloide sind nicht eine unveränderlich für den Boden gegebene Größe. Bezüglich der mineralischen Kolloide sind unsere Kenntnisse zwar gering, besonders für den Kolloidton, und wir wissen nicht, wie es mit ihrem Entstehen und Vergehen steht. Daß kolloide Kieselsäure im Boden wesentlich durch Fortführung in gelöstem Zustande, weniger wohl durch Auskristallisieren, verschwindet, ist nach allem, was wir wissen aber wahrscheinlich, und wir dürften wohl nicht fehlgehen, wenn wir ein ähnliches Vergehen, vielleicht je nach den Umständen in längerer oder sehr langer Frist und unter vielfach anderen Bedingungen, auch für die anderen Bodenkolloide mineralischer Art annehmen,[3]) soweit sie im Acker vorliegen. Daß die organischen Bodenkolloide, besonders die Humussubstanzen, verhältnismäßig schnell der Zerstörung unterliegen können, ist bekannt.

Das Gegenstück zum Vergehen der Bodenkolloide ist deren Bildung. Sie wird für die Humuskolloide unstreitig auf die Orte begrenzt sein, an denen sich Pflanzenreste[4]) im Boden befinden. Ähnlich möchte man annehmen, daß die mit der Verwitterung zusammengehende Neubildung anorganischer Bodenkolloide, die sich wohl nur in bescheidenen

---

[1]) J. A. Hensele, Forsch. Geb. Agrikulturphysik **16**, 364 (1893).

[2]) E. Braun, Forstl. Blätt. (3) **14** (27), 204 (1890).

[3]) Unsere Kenntnisse sind freilich auf diesem Gebiete völlig unzureichend.

[4]) Einschließlich tierischen Düngers.

Grenzen bewegt,[1]) in dem Bezirk des Ackers stattfindet, der, ohne in der Oberfläche allzuweitgehend der Austrocknung preisgegeben zu sein, doch den Wirkungen der Atmosphäre stark ausgesetzt ist. Wir kommen also zu der Ansicht, daß für die Bildung der Kolloide gewisse Stellen und Gegenden im Boden besonders in Betracht kommen. Da wir indes ferner wissen, daß die Bodenkolloide sich wesentlich als feine Umhüllungen der kleineren und kleinsten Sandkörnchen[2]) im Boden zu betätigen vermögen, so müssen wir unbedingt ihrer gründlichen Verteilung im Boden große Bedeutung beilegen. Da weiter in diesen wie früheren Ausführungen über Bodenkolloide diesseits niemals, wie das wohl mißverständlich angenommen worden ist, unter Bodenkolloiden nur kolloid in Wasser gelöste Stoffe, sondern auch deren Gallerten wie die sämtlichen sehr mannigfaltigen Ausflockungsprodukte verstanden worden sind, und sich auch auf die wirklich kolloid gelösten Stoffe dieser Art starke Adsorptionswirkungen im Boden geltend machen dürften, so können wir nicht annehmen, daß das Wasser allein im Boden für ausreichende Verteilung der etwa neugebildeten Bodenkolloide sorgen kann. Daher gewinnt die mischende und verteilende Tätigkeit des Pfluges und der Egge, wie anderer Ackergeräte auch in dieser Hinsicht Bedeutung für uns. Ebenso vermag das Weidevieh, wie bereits erwähnt, unter Umständen gute Dienste zu leisten, und bei einem Übermaß von Kolloidsubstanzen,[3]) wie es sich bei der Bildung des sog. Rohhumus in Waldungen gelegentlich einstellt, können wir dies sehr deutlich beobachten. Während nämlich bei ausreichender Durchmischung dieser Massen mit dem Mineralboden öfters keine ungünstigen Ergebnisse zu verzeichnen sind, wirkt der unvermischte Rohhumus, vielfach besonders durch Luftadsorption und damit zusammengehende „Unbenetzbarkeit", höchst verderblich auf Keimung und Entwicklung der jungen Baumpflanzen. So erklären sich denn aus diesen Gesichtspunkten Beobachtungen, wie sie in neuerer Zeit vielfach von namhaften Forstleuten gemacht worden sind, und deren günstige Stellung der Waldweide gegenüber. Im Königreich Sachsen ist z. B. seit Abschaffung der Waldweide die natürliche Verjüngung der Bestände in vielen Revieren mehr und mehr unmöglich geworden.[4]) Die gleiche Fest-

[1]) aber vielleicht zum Ersatz des Verlustes an derartigen Bodenkolloiden unter günstigen Bedingungen ausreicht.

[2]) Wobei unter „Sand" natürlich nicht nur Kieselsäure, sondern allerlei kleine Mineralteilchen verstanden sind.

[3]) Allerdings im weitesten Sinne.

[4]) Nach mündlichen Mitteilungen von Herrn Oberforstmeister K. A. H. Krutzsch.

stellung teilt E. Ramann aus dem Schutzbezirk Bralitz des Reviers Freienwalde a. O. mit.[1]) Ebenso wie die Waldweide durch Haustiere muß gelegentlich ein reicher Wildbestand in dieser Richtung einen günstigen Einfluß auszuüben vermögen, wofür auch Beispiele vorliegen.[2])

c) Anwendung bei feuchtem Boden.

Zumal für die Egge, indessen auch für andere Ackergeräte, eigentlich für sämtliche, gilt die Anwendung bei feuchtem Zustande des Erdbodens als für das Bodengefüge äußerst nachteilig. Es ist ein landläufiger Fehler des unerfahrenen, jungen Anfängers, bei noch nicht ausreichend abgetrocknetem Boden arbeiten zu lassen, und nur dann kann allenfalls nasse Pflugarbeit vor dem Urteil des erfahrenen Praktikers einige Gnade finden, wenn der Boden nicht zu schwer, und Sicherheit vorhanden ist, daß er noch Gelegenheit haben wird, im Winter durchzufrieren, bevor er bestellt wird. Denn, das sei hervorgehoben, diese Gefahr der Ackerbearbeitung in zu feuchtem Zustande besteht im wesentlichen nur für schwerere, bindige Böden in ihrer vollen Ausdehnung, vermindert sich mit dem Leichterwerden des Bodens mehr und mehr, und fällt nahezu ganz bei reinen Sandböden fort.

So allgemein bekannt diese Tatsachen sind, so wenig hat man sich über Ursachen und Zusammenhänge dabei bislang den Kopf zerbrochen. Auch an Stellen, die zur Pflege der Wissenschaft geschaffen sind, wird man kaum einen anderen Grund für die Nachteile feuchter Ackerbearbeitung erfahren, als daß der Boden sonst „verschmiert", zusammengetreten wird, und derart Schaden erleidet.

Wenden wir uns wieder zu dem Berufsgenossen, der auch wohl noch heute uns die besten Angaben über den Ackerbau und die verschiedenen dabei vorkommenden Fragen und Bedenken bietet, A. von Rosenberg-Lipinsky, so hören wir das Folgende:

„Bei allen gebundenen oder wohl gar strengen Bodenarten ist jede Feldarbeit im zähen Zustande des Ackers eine unverantwortliche Sünde, die sich am meisten im Frühjahre und überhaupt bei jeder ersten Pflugarbeit straft"[3]) . . . „Alle für die Bodenkultur und das Pflanzenleben hochwichtigen Vorteile gehen verloren,[4]) wenn im Frühjahr die Feldarbeit beginnt, bevor der Oberboden mindestens auf 5—10 cm Tiefe den vor-

[1]) E. Ramann, Bodenkunde, 3. Aufl. (Berlin 1911) 494.
[2]) E. Ramann, a. a. O. 494.
[3]) A. v. Rosenberg-Lipinski, Prakt. Ackerbau, 7. Aufl., 2, 18. (Breslau 1890).
[4]) Ebenda 82.

bezeichneten Grad von Trockenheit und Lockerheit erhalten hat. Die Egge verschüttet, oder sie verschmiert die wichtigen Risse und Poren, der Tritt der Pferde, indem er den nassen Boden zur Tenne preßt, vermehrt dessen Schluß, und alles dies schwächt die so unentbehrliche mechanische, wie chemische Wirkung der Atmosphäre auf das Innere der Ackerkrume ab. Sollte auch nach dem Eggen das Feld äußerlich eine entsprechende Trockenheit und Mürbung zur Schau tragen, so ist doch das vermeintlich beschleunigte Trockenstellen, Lockern und Erwärmen desselben eine arge Täuschung" ... „Ein dergleichen verfrühtes Eggen der Sturzäcker führt daher erfahrungsmäßig kein Beschleunigen der Bestellung, sondern im Gegenteil in der Regel ein wesentliches Verzögern derselben herbei; denn jeder starke Regenschlag versetzt das Feld in einen teigartigeren und geschlosseneren Zustand, als dies vor dem Eggen der Fall war, wo jene Risse und Poren die heftige Wirkung des Regens zu mildern die Aufgabe und das Vermögen hatten; die Tenne ist fertig, und das Feld bleibt oft auf viele Tage für die Zugtiere unzugänglich."[1] ... „Alle die Nachteile, die ich hier, — insbesondere bei gebundenem Boden, bezüglich des Eggens in starkfeuchtem Zustande des Ackers zur Frühjahrszeit schilderte, treten in der Regel auch bei allen späteren Eggearbeiten in stark feuchtem Zustande des Ackers ein, obschon im minderen Grade."[2])

Am gleichen Ort wird dann auch noch die nasse Pflugarbeit in gleicher Weise besprochen.

Wie lassen sich von diesen praktischen Beobachtungen nun Beziehungen zu den Bodenkolloiden und ihrem Verhalten finden

Am einfachsten liegt die Sache für die Benachteiligung der Bakterien, und damit die Hemmung ihrer für günstige Beeinflussung des Bodengefüges hochwichtigen Kohlensäure- und Salpetersäureausscheidung. Hier wirkt das „Schmieren" der Geräte auf einen unmittelbaren Abschluß der vorher nicht gerade verschlossenen, und durch zweckmäßige Bearbeitung bei geeignetem Feuchtigkeitszustande in gutes, lockeres Gefüge zu überführenden Ackerkrume gegen die Atmosphäre. Die Folge ist unzureichende Durchlüftung sowohl der oberen Bodenschicht, wie auch der tieferen Krume. Kommt es zu einem Abtrocknen, so mangelt es gleichwohl an leichter Durchdringbarkeit für die Luft, weil sich bei dem Eggen im feuchtem Zustande die Schollen nicht in Krümel auflösen konnten. Es wurde eben der Boden, wo ihn die Eggenzähne in nassem Zustande trafen, unter Zerstörung etwa vorhandener Krümel in Einzelkornstruktur

[1]) A. a. O. 84.
[2]) A. a. O. 86.

überführt. Da auch infolge des Mangels richtiger Krümelbildung die Durchlüftungs- und Befeuchtungsverhältnisse auf längere Dauer beeinträchtigt worden sind, so muß das Bakterienleben für geraume Zeit hinaus benachteiligt erscheinen, und damit die für Erreichung einer guten Bodengare so notwendige Bildung von Kalziumbikarbonat und Kalziumnitrat.

Die Zerstörung der Bodenkrümel durch die Egge und andere Ackergeräte, wenn sie bei feuchter Beschaffenheit des Ackers Anwendung finden, ist soeben von uns zwar vorausgesetzt worden, indessen doch noch nicht ohne weiteres in jeder Richtung als unzweifelhaft anzusehen. Experimentelle Grundlagen dürften meines Wissens kaum vorhanden sein. Daß die durch mechanische Einflüsse geschaffenen Flocken einer Bodentrübung auch durch mechanische Wirkung wieder zerstört werden können, hat E. W. Hilgard festgestellt.[1]) Dagegen ist es jedenfalls noch unbekannt, wieweit durch Salzwirkungen — besser gesagt Elektrolyten — gebildete Ausflockungen durch Rühren und Bearbeiten in feuchtem Zustande beeinflußt, gelöst werden, und zumal, wieweit dies bei den Krümelbildungen des Ackers der Fall ist. Daß die Bewegung von Flockungen in dieser Hinsicht eine Rolle zu spielen vermag, wäre vielleicht aus einem beiläufigen Hinweis von H. Freundlich und E. Hase[2]) zu schließen. Sonst ist es natürlich auch möglich, daß bei unserem Fall überhaupt nicht sowohl eine Zerstörung durch Kalziumbikarbonat oder andere Elektrolyten gebildeter Flocken in Betracht kommt, sondern daß solche Ausflockung und Krümelbildung infolge des späteren Erwachens der Bakterientätigkeit und der Auswaschung oberflächlicher Schichten durch die Frühjahrsfeuchtigkeit im früheren Frühjahr durch das soeben genannte und andere Kalksalze überhaupt noch nicht stattgefunden hat. Auch das Mangeln der Sonnenwirkung mit ihrem Emporheben von Salzlösungen in die oberen Bodenschichten würde in gleicher Richtung wirken.

Ist unsere Kenntnis auf dem soeben gestreiften Gebiete noch sehr lückenhaft, so kann für die Verhärtung naß geeggten Bodens beim Austrocknen ein wenig mehr Aufklärung gegeben werden. Es liegen wenigstens Versuche von G. Given vor, nach denen bei mit Kalziumhydroxyd gesättigtem Ton ein Zusammenkneten oder Pressen in nassem Zustande die Festigkeit nach dem Trocknen noch als sehr erheblich bestehen ließ, so daß gegenüber nicht mit Kalk behandeltem Ton bei gleicher Behandlung Unterschiede in dieser Beziehung nahezu fortfielen.[3]) Wurde dagegen

[1]) E. W. Hilgard, Forsch. Geb. Agrikulturphysik **2**, 57 (1879), nach Amer. Journ. Science Arts **6** (1873); Forsch. Geb. Agrikulturphysik **2**, 442/3 u. 454 (1879).

[2]) H. Freundlich und E. Hase, Zeitschr. phys. Chem. **89**, 418 oben (1915).

[3]) G. Given, Inauguraldissertation Göttingen (1915) 18/19, 21/22.

der Ton vorsichtig in seinem durch Gefrieren erhaltenen Gefüge getrocknet, so zeigte sich der mit Kalk behandelte als sehr brüchig, der ohne Kalk verbliebene dagegen noch recht widerstandsfähig. Es liegt nahe, diese Erfahrung auch auf einen, durch unzeitige Bearbeitung in nassem Zustande gekneteten und gepreßten Boden anzuwenden.

So wäre hier wenigstens der Anfang eines Anfanges der Erkenntnis auch vorhanden.

Zum Abschluß dieser dem Einfluß der Bodenbearbeitung auf die Kolloide gewidmeten Betrachtung sei darauf hingewiesen, daß sehr wahrscheinlich noch manche, hier nicht besprochene Gerätschaften, zumal auch solche neuerer Art, wie Scheibenegge, Furchen- oder Untergrundpacker, Walzenegge u. dgl., eine erwähnenswerte, in mancher Beziehung wohl auch eigenartige Wirkung auf die Bodenkolloide zu üben vermögen. Denn man schreibt ihnen von mancher Seite erhebliche Wichtigkeit für die Herstellung eines erwünschten Bodengefüges zu,[1]) obwohl hier die Ansichten wohl auch gelegentlich stark auseinander gehen. Und wie bei so mancher Gelegenheit bisher gezeigt werden konnte, wird kaum eine der mannigfaltigen Veränderungen des Bodengefüges vor sich gehen können, ohne daß die Bodenkolloide dabei eine recht erhebliche Rolle spielen.

Indessen sind unsere Kenntnisse über die Wirkung dieser neuartigen Geräte unter den verschiedensten Verhältnissen und bei längerer Verwendung noch zu gering. Namentlich fehlen einigermaßen genaue Experimental-Untersuchungen über die gesamte Wirkung auf den Boden meines Wissens wohl gänzlich. Man hat sich bislang mit der mehr oder weniger umfassenden praktischen Erprobung begnügt, die ja gewiß von der größten Bedeutung ist, aber doch mehr durch theoretische Feststellungen ergänzt werden sollte, als dies in unserer Landwirtschaft hier wie auf vielen anderen Gebieten,[2]) und gewiß nicht zum eigenen Vorteil der Praktiker der Fall ist.

[1]) Man vgl. z. B. W. Strecker, Arb. Landw.-Kammer Prov. Hannover **30**, 122 ff. (1911).

[2]) Man denke zum Vergleich daran, daß beispielsweise für den Bau unserer großen Ozeandampfer und Kriegsschiffe theoretisch die zweckmäßigste Schiffsform durch Versuche ermittelt wird, was gewiß auch so mancher alte Kapitän noch heute als „lateinischen" Unsinn betrachten dürfte, und daß auch für den Luftschiffs- und Flugmaschinenbau die theoretische Feststellung neben der Verwertung praktischer Erfahrungen steht. In der Technik hat man eben längst eingesehen, daß bei aller Bedeutung der Erfahrung praktisch erprobter Männer doch nur gleichzeitige volle Berücksichtigung der theoretischen Ermittlungen vor Fehlern und Schaden bewahren kann.

C. Düngung.

1. Allgemeines.

Fast noch gewaltiger, als dies bei der Bodenbearbeitung der Fall ist, wirkt die Düngung auf die Bodenkolloide ein. Das muß ja schon aus der einfachen Tatsache erhellen, daß wir in den Düngemitteln chemisch meist recht stark reaktionsfähige Stoffe vor uns haben, und die ganze Betätigung der Kolloide doch weitgehend nach der chemischen Seite hin liegt. Darauf weist ja bereits der Name des ganzen Gebietes, „Kolloidchemie", hin, obwohl er natürlich ebensowenig wie der ähnliche Name einer wichtigen Wissenschaft, „Agrikulturchemie", z. B. physikalische oder biologische Beobachtungen ausschließt.

Im besonderen habe ich ja in der Einleitung und bei verschiedenen anderen Gelegenheiten darauf hinweisen können, wie sehr umfassend die Wirkungen sind, welche gewisse Salzlösungen auf die Kolloide auszuüben vermögen. Unsere Düngung besteht nun zu einem sehr wesentlichen, ja fast überwiegenden Teile aber in der Einbringung gewisser Salze in den Boden und ihrer Auflösung im Bodenwasser.

Die starken und weitgehenden Einflüsse der Düngesalze auf die Bodenkolloide, die sich wesentlich durch Änderungen des Bodengefüges auch dem Auge des praktischen Landwirtes zeigen, konnten denn auch schon seit langer Zeit nicht unbeachtet bleiben. Es kam aber doch nur zu einer meist recht geringen Beachtung derselben, und sogar unverhältnismäßig wenig hat man sich mit ihrer Erklärung beschäftigt. Nur eine im Vergleich zu der ungeheuren Masse von Veröffentlichungen über die Düngerwirkung äußerst spärliche Anzahl von Versuchen und Betrachtungen über die Folgen der Düngemittelanwendung für die physikalischen Bodeneigenschaften ist veröffentlicht worden, und beschränkt sich noch dazu vielfach nur auf erneute Feststellung schon bekannter Erscheinungen. Eigenartig muß weiter dabei die ziemlich deutlich bemerkbare Tatsache erscheinen, daß man in den letzten zwanzig oder fünfzehn Jahren noch weniger als früher das hier vorliegende und gewiß auch für die Praxis recht wichtige Gebiet untersucht hat. Mit als Grund dafür wird ohne Zweifel die bei den, die Mittel verfügbar machenden, landwirtschaftlichen Instanzen leider immer mehr zutage tretende Neigung anzusehen sein, nur wahrhaft „praktische" Untersuchungen zu unterstützen; das heißt für irgendeinen recht nahe liegenden praktischen Zweck berechnete Untersuchungen, die handwerksmäßig den vorteilhaftesten Weg ausprobieren sollen und, wegen ihrer engen Begrenzung auf das augenblicklich nützlich Erscheinende, niemals die ganze Sachlage von einer

höheren Warte überblicken können. Sie dürften daher wirklich fruchtbringend in unendlich geringerem Maße sein, als jene Instanzen es erhoffen, welche für solche Handwerkskunst[1]) auf Kosten wirklicher wissenschaftlicher Forschung dauernd große Mittel zur Verfügung stellen. —

Doch zurück zur Besprechung des Einflusses, den die Düngemittel auf die Bodenkolloide ausüben. Während, wie gesagt, die nach dieser Richtung hin etwa heranzuziehenden Untersuchungen zumeist auf andere Beobachtungen das Hauptgewicht legen und oft nur beiläufig und als Nebensache von derart zu deutenden Feststellungen reden, hat vereinzelt auch schon eine entgegengesetzte Anschauung Vertretung finden können, und zwar vor einem Jahrhundert etwa in Deutschland. Es war G. Crome, der die Fruchtbarkeit des Bodens fast völlig als von seiner physikalischen Beschaffenheit abhängig ansah, und daher einer chemischen Untersuchung nur sehr geringe Bedeutung beimaß.[2]) Was damals wohl wenig auffallen konnte, mußte dreiviertel Jahrhundert später wundernehmen, als es in Nordamerika wiederholt wurde: M. Whitney glaubte die pflanzenernährende Wirkung der üblichen landwirtschaftlichen Düngemittel als mehr oder weniger unwichtig gegenüber ihrer Bedeutung für die Veränderung der physikalischen Bodeneigenschaften — und damit nach unserer Ansicht zumeist der Bodenkolloide — ansehen zu

[1]) Daß solche Ansichten nicht nur vereinzelt vorhanden sind, mag dadurch bewiesen sein, daß hier einige Sätze wiedergegeben werden, welche einer unserer namhaften Agrikulturchemiker, J. König in Münster veröffentlichte, der nun vor Jahren seinen siebzigsten Geburtstag feierte. Jugendliche Übereilung wird man ihm demnach kaum vorwerfen können. Er schrieb, Landw. Versuchsstat. **61**, 396 (1905), folgendes: „Freilich ist unsere Zeit wenig geneigt, sich derartigen mühsamen und langwierigen Versuchsrichtungen zuzuwenden; die berufenen wissenschaftlichen Anstalten dieser Art sollen der Landwirtschaft direkt und schnell nützen; sie werden infolgedessen mit Versuchen beauftragt, die auch von jedem Verwalter oder Gärtner ausgeführt werden könnten. Es ist aber eine alte Erfahrung, daß wissenschaftliche Arbeiten, je eingehender und reiner sie um ihrer selbst willen und ohne Nebenrücksichten auf die Praxis durchgeführt werden, desto eher überraschende und für das praktische Leben nutzbringende Ergebnisse zutage fördern. Diese Erfahrung hat auch ihre Gültigkeit für die Landwirtschaft." A. Mitscherlich, der sich die Worte J. Königs zu eigen macht, setzt hinzu, Bodenkunde, 1. wie 2. Aufl., letzte Textseite (1905 u. 1913): „Und in der Landwirtschaft nicht am wenigsten für die Bodenkunde."

[2]) G. Crome, Der Boden u. sein Verhältn. z. d. Gewächsen. Zit. nach C. Sprengel, Bodenkunde, 2. Aufl. (Leipzig 1844) 545/6.

sollen.[1]) Solch unendlich zu weitgehendes Hinausschießen übers Ziel — auf das Irrtümliche darin wurde auch bereits von J. L. Beeson[2]) an der Hand von Versuchen hingewiesen — hat erklärlicherweise nicht günstig gewirkt. Denn bei der nun einsetzenden Bekämpfung so einseitiger Anschauungen mag wohl bei manchem auch das durchaus Richtige an M. Whitneys Ansichten, die Hervorhebung des Umstandes, daß die Düngemittel auch wichtige physikalische Wirkungen auf den Boden auszuüben vermögen, mit dem Falschen wieder ausgerottet worden sein.

Jedenfalls ist heute in den üblichen Lehrbüchern der Pflanzenernährung und Düngung zumeist der Wirkung der Düngemittel auf die physikalische Bodenbeschaffenheit außer beim Kalk nur sehr wenig gedacht, allenfalls wird auch der verkrustenden Wirkungen des Chilesalpeters und der Kalirohsalze Erwähnung getan, aber in der Regel nur unter einfachem Bericht über die Tatsachen.[3]) Man mag dies für ganz richtig halten, weil die nähere Erklärung Sache der Bodenkunde sei, aber auch in den Lehrbüchern der Bodenkunde wird man meist vergeblich Umschau nach mehr halten. Das mag für mich besonderen Grund geben, hier den Versuch zu machen, die vorhandene Lücke auszufüllen.[4]) Zweckmäßig wird mit Rücksicht auf das hier vorschwebende Ziel zwischen Düngemitteln welche erhebliche Massen organischer Substanz in den Boden bringen, und den übrigen unterschieden, eine Einteilung, die übrigens größtenteils mit den sonst üblichen Begriffen der Wirtschaftsdüngemittel und der Handelsdüngemittel zusammenfallen wird.

2. Düngemittel mit erheblichen Massen organischer Substanz.

Wir kennen als solche den Stalldünger, die Gründüngungsmassen und den Kompost, sowie die menschlichen Ausscheidungen, kurz als Fäkalien zu bezeichnen, wenn wir von den Wurzel- und Stoppel-

[1]) M. Whitney, U. S. Depart. Agricult., Weather Bur., Bull. 4 (Washington 1892), und Amer. Journ. Agr. Science 7, 73 (1893). Ebendort eine Kritik E. W. Hilgards über M. Whitneys Ansichten; Referate in Forsch. Geb. Agrikulturphysik 16, 20 (1893), und 17, 36 bes. 40 (1894).

[2]) J. L. Beeson, Journ. Amer. Chem. Soc. 19, 645/6 (1897).

[3]) Experimentelle Untersuchungen liegen freilich auch auf diesem Gebiete leider wieder nur in bescheidenstem Umfange vor.

[4]) Soweit die Möglichkeit vorliegen sollte, werden im Laufe der Zeit Experimentaluntersuchungen am agrikulturchemischen Institut der Universität Göttingen die einzelnen Fragen weiter klären helfen. Hoffentlich geschieht ähnliches auch von anderer Seite, denn das Gebiet ist sehr groß.

rückständen, die in mancher Hinsicht ähnlich wirken werden, und einer Reihe von Düngemitteln minderer Bedeutung[1]) absehen wollen.

a) Stalldünger.

Die Wirkung des Stalldüngers kann eine verschiedene sein, je nachdem er untergebracht wurde, oder nur oben auf dem Boden ausgebreitet zur Wirkung kommt. Ich bespreche jetzt den ersten Fall.

Untergepflügter Stalldünger wirkt zunächst auf eine besonders lockere Lage der Furche hin, da er ja, wenn er gut gestreut wurde, selbst einen nur losen Zusammenhang aufweisen soll. Dazu kommt, daß er im Boden vergeht, und an seinem Platze dann eine Zeitlang Hohlräume zurücklassen muß. Wenn man sich dessen erinnert, was ich früher über die Entstehung der Bodengare ausführen konnte, so wird man einer lockeren, etwas gröbere, aber nicht zu große Hohlräume im Boden bildenden Lagerung der Furche größere Bedeutung für die Herausbildung der Krümelstruktur zuerkennen müssen. Etwas anderes ist es nur in dem Falle, daß der Boden bereits günstige Struktur besitzt und durch erneute Bildung von Hohlräumen für bald durchzuführende Saat zu locker werden könnte. Dagegen wird gerade dort, wo der Boden besonders schwer ist oder infolge einer Bearbeitung in wenig geeignetem Feuchtigkeitsgrade vorherrschend ungünstige Struktur aufweist, eine derartige Auflockerung der Krume durch Stalldünger ihre Bedeutung besitzen können. Auch die Abführung des Wassers wird dadurch gefördert und so besonders auf schweren Böden die Gefahr der Bildung von auf dem Lande stehen bleibenden Aufschwemmungen vermindert. Stark verrotteter Dünger wird seiner mehr dichten und klumpigen Beschaffenheit gemäß in dieser Richtung weniger gut wirken. Das sog. „Einlegen" des Düngers auf halber Höhe einer tieferen Furche muß die lockernden Einflüsse verstärken, weil dabei der Dünger gleichmäßig an allen Stellen der Furche gut unter die Erde kommt.

Nach der Lockerung der Krume, die hier rein mechanisch zu verstehen ist und nicht etwa bereits die einsetzende Krümelbildung unter dem Einfluß der Bodenkolloide umfassen soll, kommt die Neubildung von Humuskolloiden durch Stalldünger in Betracht.

Seine so sehr günstige Wirkung auf die Fähigkeit leichten Bodens, Wasser zu halten, muß zum Teil dadurch erklärt werden, daß der Stalldünger schon an sich eine ganz erhebliche Anzahl von quellungsfähigen Stoffen in die Erde bringt, die weiterhin auch durch ihre äußere Ge-

---

[1]) Z. B. Pferch und Teichschlamm u. dgl.

staltung, wie z. B. im Stroh, Flüssigkeiten in erhöhtem Maße zurückzuhalten vermögen. Dies dürfte aber nur der unwichtigere Punkt sein. Wesentlich bedeutungsvoller wirken voraussichtlich Stalldünger und auch anderweitige organische Massen durch die Bildung von Humuskolloiden auf den Sandboden ein.

Leichter Sandboden enthält ja bekanntlich Bodenkolloide im weiteren Sinne[1]) in der Regel nur in geringer Menge, selbst sehr feine Sande sind in ihm nur wenig vorhanden.[2]) Durch den Stalldünger und dessen Zersetzung kommt nun eine gar nicht so geringe Menge von Humuskolloiden in ihn hinein und vermag dort um so größere Wirkungen auszuüben, als ja schon ihre verhältnismäßig spärliche Beimengung erfahrungsgemäß die physikalischen Eigenschaften des Sandbodens erheblich zu verändern vermag. Schon G. Berendt stellte fest, daß ein Humusgehalt von 2½% bei einigermaßen feinkörnigem Sande ausreicht, dem Boden nicht nur eine intensiv dunkle Farbe zu geben, sondern ihn auch so bündig bzw. schmierig erscheinen zu lassen, daß er in der Praxis bereits zum Moorboden gerechnet wird.[3]) Nun wird natürlich eine Stallmistdüngung niemals einen Humusgehalt von annähernd Null auf 2½% bringen. Das ist aber auch gar nicht erforderlich, um bereits ganz wesentliche Veränderungen zu bedingen. Bedenken wir, daß Th. Schlösing d. Ä. die bindende Kraft der Humuskolloide für den Boden noch weit über die des Kolloidtons stellte, und daß auch von diesem letzten nach seinen Untersuchungen nur recht karge Prozentgehalte selbst für schweren Boden in Betracht kommen, so werden wir eine auch nur geringe Anreicherung des Bodens mit Humus, wie solche durch eine Stallmistdüngung verursacht wird, in ihrer Bedeutung für die Krümelbildung wohl zu würdigen wissen. Der Sand bildet zwar bei geeignetem Feuchtigkeitszustande, wie wir oben erfahren haben, auch allein Krümel. Aber diese vergehen nur zu schnell mit der Änderung des Wassergehaltes. Die im Boden durch Bearbeitung und anderweit verteilten Humuskolloide aber umhüllen die einzelnen Sandkörnchen und verkleben sie miteinander zu einigermaßen widerstandsfähigen Krümeln, besonders wenn es nicht zu sehr an Kalk- und Magnesiumverbindungen im Bodenwasser fehlt. Gelegentliche Austrocknung festigt sie noch, und so kommt bei einem größeren oder geringeren Teil der Sandkörnchen eine Lagerung

[1]) Wie der Ausdruck hier ja fast stets aufgefaßt sein soll.

[2]) Sonst ist der Sand ja nicht mehr „leicht", sondern nähert sich in seinen Eigenschaften dem sog. „Flottlehm". — Über diesen vgl. oben 204.

[3]) G. Berendt, Abh. geolog. Spezialkarte Preußen 2, Heft 3, 51 (Berlin 1877).

zustande, die dem Boden eine vermehrte Fähigkeit, Wasser aufzunehmen und in sich festzuhalten, nicht nur zeitweise gibt, sondern besonders auch erhält, so lange bis die Humuskolloide wieder der Zerstörung anheimfallen.[1])

Fehlen allerdings leicht lösliche Kalk- (und Magnesium-)Verbindungen im Bodenwasser, so liegt die Gefahr vor, daß Humuskolloide, besonders wenn die Kohlensäureentwicklung ihren Höhepunkt überschritten hat, „schützend" wirken, und so die Bildung von Aufschwemmungen sowie das Übergehen eigentlicher Kolloide in den „Sol"-zustand befördern. Zumal bei saueren, mit Plaggendünger versehenen Heideböden, wie z. B. im sog. „Eschlande", mag dies gelegentlich der Fall sein, wie im Eschlande ja auch heute noch Pflugsohlen beobachtet werden.[2]) Ich habe aber schon früher darauf hinweisen können,[3]) daß man derartige Gefahren nicht überschätzen darf, weil es wohl bei der Mehrzahl der Schutzwirkungen auf das Mengenverhältnis der beiden gegenseitig wirkenden Kolloide bzw. des Kolloids und der Aufschwemmung ankommt. Dasselbe Kolloid, welches energische Schutzwirkungen ausüben kann, vermag in bestimmten Konzentrationen auch eine Ausfällung[4]) herbeizuführen.[5])

Weitaus wichtiger ist aber der Umstand, daß durch eine Stalldüngergabe Kalk- und Magnesiumverbindungen für die Bodenlösung auf das umfassendste zur Verfügung gestellt werden. Ein Mangel an denselben ist demnach mit einer Stallmistgabe kaum zu vereinen, falls nicht gar zu wenig Karbonat im Boden vorhanden ist.

Zunächst wird, wie bereits oben betont werden konnte,[6]) Ammoniumion weit stärker durch die sog. „Bodenabsorption" festgelegt werden, als die sämtlichen übrigen Alkali- und Erdalkaliionen, wenigstens soweit es sich um geringe Konzentrationen handelt, wie sie in der Natur für den Boden fast ausschließlich in Betracht kommen dürften. Mit anderen Worten, das durch den Stalldünger reichlich in den Boden gebrachte Ammoniumion wird dort auf Kosten anderer Ionen festgelegt, und diese werden löslich. Dabei dürfte, entsprechend seiner weniger festen Bindung durch den Boden, ganz besonders u. a. Kalziumion dafür frei

[1]) Bei zweckmäßiger Bewirtschaftung würde man natürlich schon bevor dies wieder eintritt, erneut Stalldünger oder Gründüngungsmassen zugeführt haben.

[2]) Vgl. oben 483.

[3]) Vgl. P. Ehrenberg, Mitteil. d. landw. Inst. a. d. Univ. Breslau **4**, 486 (1908).

[4]) In dieser Richtung liegt, wie oben erwähnt, wahrscheinlich zum Teil die günstige Wirkung von Humuskolloiden, u. a. also auch Stalldünger, auf Tonboden.

[5]) So auch z. B. J. Billitzer, Zeitschr. physik. Chem. **51**, 136 (1905).

[6]) Vgl. oben 308/09.

gemacht werden und sich dann zusammen mit dem HCO_3' aus dem Ammoniumkarbonat des Düngers im Bodenwasser finden.

Wirkt also der Stalldünger schon in dieser Richtung auf genügendes Vorhandensein leicht löslicher Kalkverbindungen im Boden hin, so ist sein wesentlicher Einfluß doch durch die starke Bildung von Kohlensäure im Boden bedingt. Versuche hierüber sind ja schon von älteren Forschern durchgeführt worden. So konnten J. Boussingault und A. Lévy feststellen,[1]) daß

leichter Sandboden, vor 10 Tagen gedüngt .	9,74
Möhrenfeld, lange vorher gedüngt	0,93
Spargelfeld	0,74
Spargelfeld, frisch gedüngt	1,54

Volumprozente Kohlensäure in der Bodenluft enthielt.

E. Wollny bestätigte[2]) und erweiterte diese Ergebnisse dann dahin, daß bei Einbringung leicht zersetzlicher Stoffe, wie eben Stalldünger, die Kohlensäurebildung im Boden nicht proportional der eingebrachten Menge steigt. Wir werden demnach bei einer vermehrten Verabreichung von Stalldünger nicht stets eine stärkere Kohlensäurebildung zu verzeichnen haben,[3]) und außerdem ist zu beachten, daß überhaupt für die Kohlensäurebildung aus im Boden untergebrachtem Dünger noch Witterung, Zustand des Bodens und manche anderen[4]) Bedingungen wichtig sind. Stark verrotteter Stalldünger wird sich auch für die Kohlensäureentwicklung als weniger geeignet zeigen, was Versuche von E. Wollny dartun.[5])

Wie aber auch andere Einflüsse auf den Boden und die Bildung von Kohlensäure in ihm einzuwirken vermögen, als Grundlage ist festzuhalten, daß unter den für den Ackerbau üblichen Verhältnissen Stall-

[1]) J. Boussingault und A. Lévy, Ann. Chim. Phys. (3) **37**, 1 ff.

[2]) E. Wollny, Journ. Landw. **34**, 271 (1886). Vgl. weiter Th. Schlösing d. J., Comt. rend. **109**, 618 u. 673 (1889).

[3]) Doch darf man dafür natürlich mit einer längeren Dauer der Kohlensäureentwicklung rechnen.

[4]) J. von Fodor, Vierteljahrsschr. öffentl. Gesundheitspfl. **7**, 205, weist auf die Dichte der Lagerung des Bodens hin, mißt daneben aber auch der Menge und Zersetzlichkeit der organischen Stoffe im Boden Bedeutung bei. Auch R. Lau, Dissertation (Rostock 1906) 30, fand durch Düngung mit organischen Stoffen vermehrten Kohlensäuregehalt der Bodenluft. Man vgl. besonders hierzu E. Wollny, Landw. Versuchsstat. **25**, 373 ff. (1880), obwohl gegen die Versuchsanstellung hier und da auch Einwände erhoben werden können. Weiter sei E. Ebermayer, Forsch. Geb. Agrikulturphysik **13**, u. a. 41 (1890) angeführt.

[5]) E. Wollny, Zersetz. organ. Stoffe (Heidelberg 1897) 105.

mistdüngung ein namhaftes Ansteigen des Kohlensäuregehaltes der Bodenluft und Bodenlösung[1]) bewirkt. Damit muß natürlich, so lange kohlensaurer Kalk in der Erde vorhanden ist, auch der Gehalt an Kalziumbikarbonat im Bodenwasser steigen und gleichfalls der Gehalt an gelöster kohlensaurer Magnesia. Aus dem soeben geschilderten Zusammenhang heraus können wir auch eine Maßnahme der Praxis erklären, die ihr Verteidiger freilich noch nicht recht zu deuten vermochte. A. v. Rosenberg-Lipinsky[2]) erachtet nämlich eine Stalldüngergabe zur Mergelung „als unerläßliches Bedingnis des durchgreifenden und nachhaltigen Erfolges". Der Stalldünger lieferte eben die Kohlensäure für eine rasche und umfassende Lösung des kohlensauren Kalkes. Von welch maßgebender Bedeutung aber gerade der Gehalt an diesen Salzen für die gesamte Gestaltung des Bodengefüges sein muß, konnte bereits mehrfach dargelegt werden. Es wäre unbillig, hier neben den Feststellungen Th. Schlösings d. Ä.[3]) die Arbeiten G. Bodländers zu vergessen,[4]) der sich schon dahin äußerte, daß bezüglich der den Boden fortspülenden und aufschwemmenden Tätigkeit des reinen Wassers der Gehalt desselben an freier Kohlensäure die größte Wichtigkeit besitzt. Nach seinen Feststellungen bewirkt bereits die Kohlensäure selbst in geringen Mengen die Klärung von Aufschwemmungen, also das Niederfallen der aufgeschlämmten Erdteilchen. G. Bodländer weist direkt auf den die Erde in dieser Hinsicht schützenden Einfluß verwesender Pflanzenteile, also z. B. des Düngers, hin. Außerdem entgeht ihm nicht, daß natürlich die kalklösende Fähigkeit kohlensäurehaltigen Wassers noch besonders zur Fällung von Aufschwemmungen beiträgt, da sie für die vermehrte Anwesenheit des stark fällenden, zweiwertigen $Ca^{\cdot\cdot}$-Ions im Bodenwasser sorgt. In ähnlicher Weise ist noch vor ihm von A. F. Hollemann[5]) auf die kalklösende Wirkung einer Stallmistdüngung bei steifem Tonboden hingewiesen worden.

Weiter gelangen bei der Zersetzung des Stalldüngers auch noch aus seinen Bestandteilen selbst Ammoniakverbindungen in erheblicher Menge in den Boden; vielen gilt das ja als wesentlichster Umstand bei

[1]) Vgl. besonders P. Ehrenberg und J. P. van Zyl, Internatl. Mittlg. Bodenk. **7**, Heft 3/4 (1917).

[2]) A. v. Rosenberg-Lipinsky, prakt. Ackerbau **2**, 425 (Breslau 1890).

[3]) Z. B. Th. Schlösing d. Ä., E. Frémys Encyclop. chim. **10**, 60 (Paris 1885).

[4]) G. Bodländer, Neues Jahrb. Mineralogie **2**, 167 (1893); Nachr. Ges. Wissensch. (Göttingen 1893) 273.

[5]) A. F. Hollemann, Landw. Versuchsstat. **41**, 41 (1892); auch A. Mayer, Agrikulturchemie, 3. Aufl. **2**, 145 (1886), ist zu erwähnen.

der Stallmistdüngung. Das Ammoniak kann zwar auch von den höheren Pflanzen aufgenommen werden,[1]) in der Regel geschieht dies aber auf unseren Feldern nur in geringem Umfange, und die Hauptmenge der Ammoniakverbindungen wird auf dem Wege über das Ammoniumkarbonat infolge der Wirkung der salpeterbildenden Bakterien im Boden in Salpetersäure übergeführt, wobei außerdem die Kohlensäure des Ammoniumkarbonats frei und zur Auflösung von Kalk- und Magnesiumverbindungen verfügbar wird. Weitaus stärker noch wirkt derart aber erklärlicherweise die nun neu entstehende Salpetersäure. Daher ist auch in dieser Richtung der Erfolg der Stalldüngerverabfolgung zunächst eine ganz wesentliche Erhöhung des Gehalts der Bodenlösung an Kalziumion. Da auch wieder bei dem Auftreten der Salpetersäure im Boden diese Kohlensäure aus kohlensaurem Kalk oder kohlensaurer Magnesia frei macht, um sich selbst an diese Metalle zu binden, so haben wir auch hier noch eine Quelle für das Entstehen freier Kohlensäure, die wieder neue Mengen von Karbonaten des Kalziums und Magnesiums in Lösung überführt.

So wirkt Stallmistdüngung in der mannigfaltigsten Weise auf die Lösung von Kalk und Magnesia im Boden hin,[2]) wobei ich bisher noch gar nicht auf den Umstand eingegangen bin, daß auch aus dem Dünger selbst bei seiner Zersetzung die beiden genannten Metalle in Form ihrer Salze in Lösung gehen.[3]) Endlich wird ja durch jede Stallmistdüngung eine ganz außerordentlich große Menge von Kleinlebewesen in den Boden gebracht, die nun wieder auf die Zersetzung der Humussubstanzen des Bodens beschleunigend wirken und so die entstehenden Kohlensäuremengen vermehren dürften.

Auch die gerade durch Stallmistdüngung stark vermehrten Bodenkleinlebewesen selbst mögen teils durch Bildung von Schleimmassen,[4])[5]) teils dadurch, daß sie mit ihren Leibern selbst Aufschwemmungen bilden

[1]) Vgl. P. Ehrenberg, Bewegung d. Ammoniakstickst. (Berlin 1907) 197 ff.

[2]) Auch Beobachtungen über die Wirkung des Stalldüngers auf verhältnismäßig recht kalkarmen Böden geben den oben wiedergegebenen Anschauungen recht. Vgl. P. Ehrenberg, Landw. Jahrb. **33**, 119 (1904).

[3]) Das Eingreifen der Kulturpflanzen in diese Vorgänge wird später zu behandeln sein. Vgl. auch über die Wirkung von Stallmistgaben auf den Kalkgehalt der Bodenlösung: J. P. van Zyl, Journ. Landwirtsch. **63**, 235 u. 236 u. f., (1916).

[4]) P. Ehrenberg, Mitteil. landw. Inst. Breslau **4**, 485 (1908).

[5]) Wie zähe solche Schleime sein können, erhellt aus der Beobachtung von H. B. Hutchinson, Zentralbl. Bakteriol. (2) **17**, 326 (1906), daß eine Torulaart, die viel Schleim bildete, in der Flüssigkeit in Form kleiner Kugeln wuchs.

und ausgeflockt werden können,[1]) eine geringe Rolle bei den physikalischen Umwandlungen des Bodens spielen können.

Endlich wird die Tätigkeit des Regenwurms, vieler anderer Bodentiere, und damit wohl auch des Maulwurfs, sich in frisch mit Stalldünger versehenem Lande verstärken. Es kann in dieser Beziehung auf das früher Gesagte verwiesen werden.

Dagegen ist noch als neuartig zu erwähnen, daß die Kleinlebewesen in dem die Bodenteilchen an ihrer Oberfläche umgebenden Wasser noch in anderer Hinsicht auf Verklebungserscheinungen hinwirken können.

Pilzkolonien, welche sich in künstlich hergestellten kolloiden Goldlösungen häufig ansiedeln, haben die Fähigkeit erwiesen, an ihrer Oberfläche das Gold aus der Lösung auszuflocken und sich anzulagern.[2]) Ähnlich werden wohl auch Pilze[3]) und andere Kleinbewohner des Ackers Bodenkolloide zur Ablagerung bringen können. In ziemlichem Umfange ist dies für die Eisenhydroxydkolloide in ihren Röhren niederschlagenden Chlamydothrixbakterien[4]) der Fall, wie beispielsweise schon feststeht.

Nimmt man nun in dem die Bodenteilchen auch bei geringerer Feuchtigkeit im Boden immer noch umgebenden Wasserhäutchen solche Kleinlebewesen an, so können diese durch solche und ähnliche Vorgänge Bodenkolloide ausflocken und derart sehr leicht auch an der Verklebung von einzelnen Bodenteilchen mitwirken; besonders natürlich nach einer Stallmistdüngung. Aber nicht nur so, indirekt, sondern sehr wahrscheinlich auch direkt vereinigend werden Bodenkleinlebewesen auf Bodenteilchen wirken. Abgesehen von ihren bereits erwähnten Schleimabscheidungen, durch die sie sich leicht in dieser Richtung betätigen können, werden auch besonders die Pilze direkt mit ihren Hyphenfäden die einzelnen Teilchen zu umspinnen und an andere zu fesseln vermögen, wie das bereits für den Waldboden früher hervorgehoben wurde, wo freilich solche Vorkommnisse in weiterem Umfange als beim Ackerboden eintreten dürften.

Ob und wieweit bei der Zersetzung des Stalldüngers im Boden sich vorübergehend auch höher zusammengesetzte organische Säuren zu bilden ver-

[1]) H. Bechhold, Zeitschr. physik. Chem. **48**, 385 (1904).

[2]) G. Bredig, Anorganische Fermente, Habilitationsschr. (Leipzig 1901) 30.

[3]) Einiges über die Rolle der Pilze im Ackerboden wie im Stalldünger bei P. Ehrenberg, Bewegung d. Ammon.-Stickst. (Berlin 1907) 182 ff.

[4]) Über den Umfang einer durch Crenothrix Kühniana bedingten Eisenabscheidung F. Giard, Compt. rend. **95**, 247 (1882).

mögen, ist wohl noch nicht ausreichend bekannt.[1]) Sollte es zum Entstehen von solchen in merklichen Mengen kommen, so wäre auch hierdurch eine Beeinflussung der Bodenkolloide gegeben, indem nämlich derartige Säuren durch ihr Säure-Ion auf positiv geladene Bodenkolloide stark fällend, aber auf die weitaus überwiegende Menge der negativ geladenen aufteilend wirken müßten.[2])

Doch ist von einer solchen, ungünstigen Wirkung des Stalldüngers nichts bekannt. Offenbar wird es, wenn überhaupt, nicht zur Ansammlung merkbarer Mengen von solchen Säuren kommen, da sie alsbald weiter von Kleinlebewesen verarbeitet werden. Die von einigen Forschern bei Zusatz merkbarer Mengen von Zucker zu Ackerboden bemerkte ungünstige Wirkung auf die physikalischen Bodeneigenschaften[3]) könnte indessen wohl mit mehr Berechtigung auf die Bildung stark adsorbierbarer, organischer Säuren und dadurch bedingter Aufteilung der Bodenkrümel zurückgeführt werden, zumal auch das Vorhandensein erheblicher Mengen von Buttersäure nachgewiesen werden konnte.[4]) Allerdings trat daneben gleichzeitig starke alkalische Reaktion auf,[5]) wohl durch hydrolytische Spaltung der Butyrate zu erklären, so daß vermutlich auch das OH-Ion für die physikalische Schädigung mitbedingend auftrat.

Die nach der anfänglichen Zersetzung in Form von Fasern und anderen Überbleibseln zunächst noch zurückbleibenden Reste von Pflanzenmaterial werden weiter besonders in leichteren Böden darauf hinzuwirken vermögen, daß deren feine und feinste Mineralteilchen nicht zu schnell der Hinabwaschung unterliegen. Man kann sich vorstellen, daß solch ein von organischen Resten durchsetzter Boden eine gewisse Ähnlichkeit mit einem Filter besitzt und viele feine Teilchen zurückhält, wobei Adsorptionswirkungen eine Rolle spielen dürften. In Sandböden mit einem größeren Gehalt an feinen Teilchen wird man diesen

[1]) Immerhin nicht ausgeschlossen, wenn man bedenkt, daß z. B. ein Pilz, Citromyces, aus Zucker Zitronensäure zu bilden vermag, und daß neue Untersuchungen von P. Ehrenberg und J. P. van Zyl zeigten — Intern. Mittlg Bodenk. 7, Heft 3/4 (1917) —, daß in der Bodenlösung die festgestellten anorganischen Säuren einschließlich der Kohlensäure nicht zur Bindung der nachgewiesenen Basen ausreichten.

[2]) Vgl. W. B. Hardy, Zeitschr. physik. Chem. 33, 391 (1900). Auch oben 301.

[3]) A. Koch, Mittlg. Deutsch. Landw. Ges. 22, Nr. 12 (1907); O. Lemmermann und E. Blanck, Landw. Versuchsstat. 69, 152 (1908).

[4]) A. Koch, Journ. Landw. 57, 286 (1909); O. Lemmermann und E. Blanck, a. a. O.

[5]) O. Lemmermann und E. Blanck, a. a. O.

Umstand auch für die Erklärung der günstigen Wirkungen des Stalldüngers in wechselndem Umfange heranziehen dürfen.

Bereits früher habe ich weiter die Auswaschungshemmungen erwähnt, die sich im Anschluß an das Vorhandensein größerer Mengen von Kolloiden in Gestalt von Pflanzenresten gelegentlich wohl in merkbarer Weise im Boden betätigen können.[1]) Sie werden sich auch als Folge von Stalldüngergaben finden. Unter diesen zahlreichen Wirkungen einer Stalldüngergabe auf den Boden, die dessen physikalische Eigenschaften fördern, kann es nicht wundernehmen, daß mit Stalldünger regelmäßig versehene Flächen solchen Feldern, die nicht mit Stalldünger bedacht werden, überlegen erscheinen. Besonders in dieser Richtung bedeutungsvolle Versuche liegen in Rothamsted vor, und E. J. Russell berichtet darüber folgendes:[2]) „Die Rothamsteder Runkelrübenschläge, welche keine Stalldüngung erhalten haben, und deswegen an organischen Stoffen sehr arm sind, kommen in einen derart zähen und „unangenehmen" Zustand, daß die jungen Pflanzen nur unter Schwierigkeiten gesund erhalten werden können, selbst wenn ihnen noch so viel Nährstoffe zu Gebote stehen, und daß sie bei Eintritt ungünstiger Witterung (wie in den Jahren 1908 und 1911) völlig eingehen. Die mit Stallmist gedüngten Parzellen dagegen, welche reich an organischen Bestandteilen sind, erweisen sich für die Pflanzen als viel geeigneter, und ergeben niemals einen Ernteausfall." — Die wesentlichste Ursache dieses Rückganges des erwünschten Bodengefüges, der sich vor allem in der Jugend der Rübenpflanzen geltend macht, ist offenbar der Mangel an kohlensaurem Kalk in der Bodenlösung während des Frühjahrs und ersten Teiles des Sommers, bedingt durch weitgehendes Fehlen organischer Massen im Boden, die Kohlensäure zur Lösung des Boden- und sonstigen Kalkes entwickeln könnten, so lange die Rübenwurzeln noch klein und daher nennenswerte Kohlensäuremengen zu liefern nicht imstande sind. —

Einer Besonderheit muß hier noch gedacht werden, obgleich auch für sie, wie für viele der hier zu besprechenden Fragen experimentelle Prüfung erst folgen muß. Es sind die Möglichkeiten welche sich durch die Einwirkung von Stalldünger auf mit Kalisalzen versehenen Boden ergeben.

Ich konnte weiter oben, bei Besprechung der Einwirkung von Seewasser auf Ackerland und Weiden, wie bei Darlegung der für Alkaliländer wichtigen Verhältnisse zeigen, daß bei Gegenwart ausreichender

[1]) P. Ehrenberg, Bewegung d. Ammon.-Stickst. i. d. Natur (Berlin 1907) 171.
[2]) E. J. Russell-H. Brehm, Boden u. Pflanze (Dresden 1914) 88/89.

Mengen von Kohlensäure und kohlensaurem Kalk, bzw. wohl auch kohlensaurer Magnesia, die Alkalisalze den Anlaß zur Sodabildung im Boden geben können.

Von Natur sind nun in unseren heimischen Ackerböden natürlich Alkalisalze nicht in derartigen Mengen vorhanden, daß solche Vorfälle ohne weiteres in merkbarem Umfange eintreten könnten. Wohl aber kann die Anwendung künstlicher Düngemittel die Verhältnisse verändern. Darüber indes später. Hier wird ja die Anwendung des Stalldüngers besprochen. Aber auch für ihn kann sich der eben erwähnte Zusammenhang geltend machen, wenn man Kalirohsalze zur „Konservierung" des Stalldüngers heranzieht. Wie bekannt, ist dies Verfahren ebenso lebhaft von einzelnen Praktikern wie Theoretikern empfohlen worden, wie es von der überwiegenden Mehrzahl, zumal auf schwereren Böden, als bedenklich abgelehnt wird.

Es besteht nun die Wahrscheinlichkeit, daß beim Einbringen so „eingesalzenen" Stalldüngers in den Boden die so lange vorhandene Hemmung der Zersetzung desselben mindestens zum Teil fortfällt, weil eine Verdünnung durch den Boden eintritt. Die Freunde der Verwendung der Kalisalzkonservierung nicht nur, sondern auch deren Gegner rechnen ja mit einer Zersetzung des so behandelten Stalldüngers im Boden, die Gegner nur mit einer Verlangsamung der Umsetzungen.

Es befindet sich dann im Ackerboden die zur Konservierung benutzte Kalirohsalzmenge, weiterhin aus dem in Zersetzung übergehenden Dünger Kohlensäure und kohlensaurer Kalk des Erdreichs. Daher löst sich unter Vermittelung der Kohlensäure Kalziumkarbonat in vermehrtem Umfange, so daß nun in der Bodenlösung vorhanden sind: Kochsalz bzw. auch Chlorkalium aus dem Kalirohsalz, und durch Kohlensäure gelöstes Kalziumkarbonat. Nach dem Massenwirkungsgesetz und nach den oben wiedergegebenen Experimentaluntersuchungen von E. W. Hilgard u. a.[1]) muß sich dann Soda in der Bodenlösung zeigen.[2]) Allerdings ist der Vorgang noch wesentlich dadurch verwickelt, daß auch das im Kalirohsalz vorhandene Chlormagnesium an den Umsetzungen teilnehmen muß und wahrscheinlich die Bildung von Soda merklich vermindert.

Sollten einmal weitere Untersuchungen über die Verwendung von Kalisalzen für die Behandlung des Stalldüngers stattfinden, so dürfte

---

[1]) Vgl. oben 289.

[2]) Es ist hier, wie auch mehrfach oben absichtlich von der Berücksichtigung der Anschauungen, wie sie sich an der Hand der Ionentheorie ergeben, Abstand genommen, weil dadurch die Verständlichkeit für die Mehrzahl der Leser in den meisten Fällen kaum erhöht worden wäre.

für die Frage nach dem Erfolge so behandelten Düngers auch die physikalische Wirkung auf schweren Boden, und dabei der soeben angeführte Gesichtspunkt einige Beachtung verdienen.

Zum Schluß sei noch gesagt, daß durch Kohlensäure bekanntermaßen die Geschwindigkeit der Silikatzersetzung und Verwitterung erhöht wird. Es vermochte so schon A. Stöckhardt bei Porphyr die doppelte, bei Basalt aber die achtzehnfache Löslichkeit durch kohlensäurehaltiges Wasser gegenüber reinem Wasser zu erhalten.[1]) Im Anschluß an die Ansichten von J. M. van Bemmelen über das „kolloide Verwitterungssilikat"[2]) darf man demnach gewiß die Meinung vertreten, daß durch die Kohlensäure des Bodens und die mit ihrer Hilfe gesteigerte Verwitterung der Mineralbestandteile auch mineralische Kolloide in größerem Maße sich bilden. Auch nach dieser Richtung hin wäre somit ein Einfluß der Düngung mit Stallmist naheliegend.

Die zweite Möglichkeit der Anwendung des Stalldüngers, das Belassen des ausgebreiteten Düngers während eines längeren Zeitraums auf der Oberfläche des Feldes, ist jetzt zu behandeln. Stellt sie auch die bei weitem mehr zurücktretende Verwendungsart dar, so bietet sie doch gerade für die Beeinflussung des Bodengefüges so viel Besonderheiten, daß sich eine, wenn auch kürzere, Einzelbesprechung notwendig macht.

Natürlich handelt es sich für uns hier nicht um die etwaige Stickstoff- und sonstige Düngewirkung, die oben aufgebreiteter Stalldünger auszuüben vermag. Es dürfte auch kaum einer Frage unterliegen, daß durch eine derartige Behandlung die insgesamt erzielbare Düngewirkung gegenüber der zumeist üblichen Unterbringung in keiner Weise zu erhöhen ist.[3]) Wenn trotzdem die landwirtschaftliche Praxis doch auch in solchen Fällen, in denen der Pflanzenwuchs auf dem Acker eine Unterbringung nicht verhinderte, Vorzüge des Obenaufliegenbleibens für den Stalldünger erkennen wollte, so wird es sich hier für uns darum handeln, die Folgen dieses Verfahrens für die Beeinflussung des Bodengefüges klar zu legen. Natürlich werden, wie hier ein für allemal gesagt sei, nur mittlere bis schwerere Böden in Betracht zu ziehen sein. Leichteres Ackerland, wohl

[1]) A. Stöckhardt, Chem. Ackersmann **19**, 230 (1873).

[2]) J. M. van Bemmelen, Arch. Néerland. scienc. exact. natur. **10** [2], 207 (1905), und D. J. Hissink, Verh. 2. intern. Agro-Geolog.-Konfer. 1910 (Stockholm 1911), 25.

[3]) Vgl. u. a. H. Hellriegel, Chem. Ackersmann **2**, 86 (1856); Th. Remy, Illustr. Landw.-Ztg. **22**, 1009 (1902); P. Ehrenberg, Beweg. Ammon.-Stickstoffs i. d. Natur (1907) 107.

gar Sand, kann niemals auf derartige günstige Wirkungen mit wesentlicher Besserung seines Bodengefüges antworten.

Zunächst möchte ich eine Beobachtung von berufenster Seite angeben, die den Leser in die vorliegende Frage einführt:

A. v. Rosenberg-Lipinsky[1]) teilt mit: „Im Spätherbste 1828 wurde abgeerntetes Kartoffelland — tief aushaltender, milder Lehmboden in ebener Lage — mit gemischtem Pferde- und Rindermist zu Gerste gedüngt. Bevor der durchweg gebreitete Dünger vollständig untergepflügt war, trat über Nacht plötzlich ein starker Frost ein, welchem späterhin hoher Schnee folgte; somit blieb auf einem Hektar und auf mehreren, nur teilweise beendeten Beeten, der Dünger über Winter obenauf liegen. Derselbe war im nächsten Frühjahr so ausgelaugt wie Stroh, und mein alter Amtmann bat mich dringend, ihm auf diesen Stellen einen Nachdung zu gestatten. Es interessierte mich indes, den Unterschied des Fruchtstandes zu beobachten, zumal sich nach dem Abtrocknen des Feldes die Ackerkrume unter dem Miste ungemein milde zeigte. Der Nachdung unterblieb daher, und die betreffenden Stellen wurden durch Pfähle bezeichnet. Diese Vorsorge hätte ich mir jedoch ersparen können; denn unerwartet gewann auf diesen Flächen die im Frühjahr eingesäte Gerste einen augenfälligen Vorsprung. Das üppige Grün der jungen Pflanzen ließ hier die Grenzlinien des über Winter obenauf gelegenen Düngers aus weiter Ferne auf das entschiedenste erkennen, während sich bei der Ernte auf diesen Flächen die Gerste in Körnern und Stroh so vorteilhaft auszeichnete, daß jedes weitere Feststellen des Mehrertrages nach Maß und Gewicht überheblich war. — Und diesen Vorzug bewahrten jene Flächen, obschon alljährlich in abnehmendem Grade, nicht bloß bei den im sechsjährigen Umlaufe folgenden Früchten, sondern selbst bei dem nächsten Dunge; denn die hier angebauten Kartoffeln (nach gedüngtem Weizen) zeigten einen hervorstechenden Krautwuchs. Also nach acht Jahren war die Wirkung noch dem bloßen Auge ersichtlich.[2]) — Seitdem habe ich dies Verfahren bei verschiedenen Früchten mit gleich günstigem und nachhaltigem[3]) Erfolge im großen angewendet, und würde es sogar schon längst als Regel in meiner Wirtschaft eingeführt haben, wenn dasselbe zu jeder Zeit und überall rätlich wäre."

Damit dürfte durch einen einwandfreien Beobachter die tatsächlich

[1]) A. v. Rosenberg-Lipinsky, Chem. Ackersmann **1**, 78 (1855); derselbe, Prakt. Ackerbau **2**, 371 (Breslau 1890).

[2]) A. v. Rosenberg-Lipinsky, Prakt. Ackerbau **2**, 371/2 (Breslau 1890).

[3]) Bei v. Rosenberg-Lipinsky gesperrt.

für das Gefüge zumal der obersten Bodenschichten äußerst günstige Wirkung eines Obenaufliegenlassen des Stalldüngers ausreichend dargetan sein, die zum Überfluß noch durch andere Theoretiker wie anerkannt namhafte Praktiker aus einer Zeit, die den tüchtigen Landwirt weit mehr als die heutige zu einem vortrefflichen Ackerbauer erzog, bestätigt wurde, so durch A. Stöckhardt, A. D. Thaer, J. N. v. Schwerz, A. Block,[1]) Pogge-Roggow,[2]) Graf v. Wartensleben-Schwiersen,[3]) v. Walz,[4]) und andere.[5]) Es wird mehrfach die „vortreffliche" Bodenbeschaffenheit, die leichte Bearbeitbarkeit selbst eines zähen, in hohem Grade widerspenstigen Tons hervorgehoben, und ihre längere Dauer, sodaß an dem Erfolge füglich nicht zu zweifeln ist. Ich wende mich zur Besprechung der Gründe dafür.

Zunächst fallen, worauf besonders E. Wollny aufmerksam gemacht hat,[6]) die nachteiligen Wirkungen des Regenfalls fort, da die Oberfläche des Bodens vor dem unmittelbaren Aufprallen der Tropfen geschützt ist, und auch ein mehr oder minder erheblicher Teil der Niederschläge selbst in dem obenauf liegenden Dünger hängen bleibt, jedenfalls aber langsamer und sanfter dem Boden zufließt.

In gleicher Weise wird indessen auch das Austrocknen der Oberfläche durch den auf ihr liegenden Stalldünger gehindert, da die Verdunstung wesentlich sinkt.[7]) Dies dürfte auch für den Winter, zumal wenn schneelose Kälte herrscht, und bei dem oft starken, austrocknenden Wind nicht ohne Bedeutung bleiben. Haben wir doch bereits das Verwehen von ausgetrockneten, obersten Bodenschichten im Winter kennen gelernt. Da endlich der obenauf liegende Dünger auch den Schnee festhält, so wirken verschiedene Umstände zusammen, um einen unter Umständen günstigeren Feuchtigkeitsgehalt der oberen Bodenschichten zu schaffen.

Die Beseitigung der unmittelbaren Sonnenwirkung auf die Oberfläche, mit der sich die Verdunstung derart vermindert, bedingt aber auch noch die Ausschaltung der kapillaren Hebung von Salzen und Bodenkolloiden

---

[1]) Chem. Ackersmann **1**, 35, 37 (1855).

[2]) Ebenda 37.

[3]) Ebenda **2**, 93 (1856).

[4]) v. Walz, Rieckes Wochenbl. f. Land- u. Forstwirtsch., Nr. 1 u. 2 (1856).

[5]) Chem. Ackersmann **1**, 37 (1855); Kurella-Voigtshoff, ebenda, **4**, 103 (1858).

[6]) E. Wollny, Forsch. Geb. Agrikulturphysik **12**, 36/37 (1889).

[7]) E. Wollny, Forsch. Geb. Agrikulturphysik **12**, 55 (1889); **10**, 268, 276, 293 u. f., 334, 344 (1888); R. Heinrich, Dünger u. Düngen, 3. Aufl. (Berlin 1896) 18.

in die oberste Bodenschicht, deren gleichfalls schon oben gedacht wurde. Damit entfällt jede Art von Krustenbildung.[1])

Auch die Temperatur des Bodens wird durch Bedeckung mit Stalldünger beeinflußt, wie gleichfalls E. Wollny dargetan hat.[2]) Der bedeckte Boden ist in der kalten Jahreszeit wärmer, als der unbedeckte, dagegen taut er, falls der Frost durchdrang, langsamer auf.[3])

Endlich wird der Kohlensäuregehalt des Bodens durch Bedeckung offenbar[4]) in gewissem Umfange vor Verdunstung bewahrt und im Boden erhalten.

Der Einfluß der Bedeckung wird sich, meiner Ansicht nach, wesentlich in der Nachwinter- und Frühjahrszeit ergeben. Im Herbst wird unter der Düngerdecke eine ziemlich lebhafte Kohlensäurebildung einsetzen, die gerade für die alleroberstem Bodenschichten durch Auflösung von Kalk und sonstige Beeinflussung auf günstige Gefügeverhältnisse hinarbeiten muß. Das wird besonders deutlich in Erscheinung treten, wenn das Land noch in Stoppel liegt, und ohne Bedeckung seinen physikalischen Zustand bis zum Eintritt des Frostes voraussichtlich dauernd verschlechtert. Dann folgt der Frost, dessen Einfluß auf das unter der Streudecke sich im allgemeinen doch feuchter haltende Land, zumal seine oberen Schichten, jedenfalls kein geringerer sein wird. Auch hier wird die vorteilhafte Wirkung sich besonders gegenüber ungepflügtem Lande zeigen, weil gepflügtes Land mit wie ohne Bedeckung reichlich Wasser aufnehmen, und so günstige Erfolge des Frostes bedingen wird, wenn es überhaupt seinem Gehalt an tonigen Bestandteilen nach geeignet erscheint, durch Frost in seinem Gefüge merkbar verbessert zu werden. Freilich wird auch bei gepflügtem Land die oberste Schicht unter Bedeckung gleichfalls besonders günstig gestellt sein.

Während der Frostzeiten bietet, wenn dieselben einige Dauer und Stärke erreichen, das bedeckte Land die größere Wahrscheinlichkeit für gleichmäßige Erhaltung eines mittleren, nicht allzu hohen Kältezustandes, und damit wohl auch für ein erheblicheres Anwachsen der Eiskristalle. So ist die Wirkung des Frostes entsprechend eine voraussichtlich stärkere, da auch höherer Wassergehalt des Landes in gleicher Richtung wirken mußte.

Günstigere Frostwirkung, und wesentlich bessere Gestaltung der obersten Bodenschichten werden das bedeckte Erdreich auszeichnen,

---

[1]) E. Wollny, Forsch. Geb. Agrikulturphysik **12**, 55 (1889)

[2]) E. Wollny, Forsch. Geb. Agrikulturphysik **6**, 197, 256 (1883); **13**, 167 (1890).

[3]) A. a. O. 42.

[4]) E. Wollny, a. a. O. **3**, 11 (1880).

wenn der Frost verschwindet. Dies wird unter der Decke von Stalldünger nicht unwesentlich langsamer geschehen, als bei freiliegendem Boden. Derart wird voraussichtlich für die Verdunstung der bedeckte Boden im Frühjahr durch den darauf liegenden Stalldünger zwar ungünstiger gestellt sein, weil Wind und Sonne nicht angreifen können, dagegen ein schnelles Auftauen nicht zu befürchten haben, wie es durch plötzlich gebildete, am Abfließen aber durch den in tieferen Schichten noch gefrorenen Boden gehinderte Tauwassermengen so leicht die ganze günstige Wirkung des Frostes wieder zu nichte macht. Vielmehr wird es nur zur allmählichen Bildung von Schmelzwasser kommen; dieser Umstand, noch mehr aber der Schutz der oberen Bodenschichten vor Frühjahrsregen, wird ganz besonders auf ein gutes Bodengefüge hinarbeiten, gleichfalls die Verhinderung von Krustenbildungen.

Wir können demnach die Beobachtungen der landwirtschaftlichen Praxis durch unsere theoretischen Anschauungen in weitem Umfange erklären und als berechtigt anerkennen.

Wie zumeist, so kann auch für das soeben besprochene Gebiet in diesem Buche nicht jede Frage eingehend behandelt werden; es mag genügen, wenn Hinweise und Andeutungen den Leser auf die verschiedenen Gesichtspunkte aufmerksam machen. Vieles, allzu Vieles harrt auch noch der experimentellen Durchprüfung.

b) Jauche.

So kann auch die Wirkung der Jauche auf das Bodengefüge hier kaum gestreift werden. Theoretisch sollte man annehmen, daß ihr nicht unerheblicher Gehalt an Ammoniumkarbonat einen ungünstigen, verteilenden, die Bodenkrümel auflösenden Einfluß ausüben müßte, wenn der Boden an Kolloiden reicher ist. Da jetzt an der Hand der zunächst vielfach einer vermehrten Gewinnung stickstoffreicher Jauche günstigen Arbeiten einer Reihe von Forschern[1]) die Möglichkeit verbreiteterer Anwendung ammoniumkarbonatreicher Jauchen auch auf schwereren Böden nicht ausgeschlossen erscheint, so darf meines Erachtens eine wenigstens kurze Angabe der dagegen bestehenden Bedenken bezüglich der Gestaltung des Bodengefüges hier nicht fehlen: Das Ammoniumkarbonat ist einmal als

[1]) F. Honcamp und E. Blanck, Arb. Deutsch. Landw.-Gesellsch. **282**, (1916); Th. Pfeiffer, Deutsch. Landw. Presse 549, Nr. 67 (1916); G. Andrä und J. Vogel, Arb. Geb. Sächs. Landw. **1**, (1916); F. Honcamp, G. Andrä und J. Vogel, Jahrbuch Deutsch. Landw.-Gesellsch. **31**, 59 u. f., (1916); P. Ehrenberg, Illustr. Landw. Ztg. **36**, 539 u. 545, (1916); G. Andrä und J. Vogel, Sächs. Landw. Zeitschr. Nr. 11 (1917).

Salz im Basenaustausch stark reaktionsfähig da, wie oben erwähnt, Ammoniumionen am stärksten durch Basenaustausch festgelegt werden. Dann aber wirkt es durch seine erhebliche hydrolytische Spaltung, und bringt Hydroxylion in die Bodenlösung, aus der dies stark adsorbiert wird, um dabei verteilend und aufschlämmend zu wirken. Der Erfolg wird dabei um so deutlicher auftreten, als schon durch die Wirkung des Ammoniumions beim Basenaustausch das zweiwertige, die Krümelbildung festigende Kalziumion weitgehend herausgelöst worden sein muß. Da fernerhin organische Stoffe, kurz gesagt, Humusbestandteile der Jauche noch dazu als Schutzstoffe sich betätigen können, so muß alles dieses zusammen eine ziemlich erhebliche Schädigung des Bodengefüges erwarten lassen, wenn auf nicht besonders kalkreichen, schweren Böden stark ammoniakhaltige Jauche Anwendung findet. Und in der Tat warnt E. J. Russell vor der Anwendung der Jauche auf Tonböden.[1]) Wenn ausgedehnte Feldversuche von F. Honcamp und E. Blanck mit Jauche keinen ungünstigen Einfluß auf das Bodengefüge erkennen lassen, so ist dies zweifellos in erster Linie durch den Umstand bedingt, daß bei diesen Versuchen Tonböden überhaupt nicht, Lehmböden nur dreimal in Betracht kamen. Alle anderen Böden waren sandige Lehme, lehmige Sandböden oder Sandböden, die naturgemäß weniger auf physikalisch ungünstige Eingriffe durch Zusammenschlämmen antworten konnten. Auch scheint auf derartige Ergebnisse in keiner Weise geachtet worden zu sein, es finden sich wenigstens mit einer Ausnahme nirgends diesbezügliche Hinweise, und dies eine Ergebnis auf sandigem Lehm könnte immerhin im Sinne einer Schädigung des Bodengefüges durch Jauche gedeutet werden. Freilich ist noch aus einem anderen Grunde der Ausfall diesbezüglicher Beobachtungen erklärlich. Die Jauche wurde zumeist tief untergebracht, so daß sie bei einmaliger Anwendung kaum erhebliche Wirkungen in der gedachten Richtung zu äußern vermochte. Ob die jahrelange Anwendung stickstoffreicher Jauchen auf mittleren und besonders schwereren Böden nicht merkbare Schädigungen des Bodengefüges mit sich bringt, zumal bei Anwendung als Kopfdünger, ist jedenfalls eine noch durchaus offene Frage.

c) Gründüngung.

Die Gründüngung wird in mancher Beziehung in ihrer Wirkung auf die Bodenkolloide einer Stalldüngergabe ähnlich sein; doch sind auch ganz zweifellos große Unterschiede zu beachten. Es wird zumal

[1]) E. J. Russell-H. Brehm, Boden u. Pflanze (Dresden 1914) 169.

nicht möglich sein, die Wirkungen der Gründüngung, so lange sie noch lebende, auf dem Boden wachsende Pflanzenmasse ist, völlig unbeachtet zu lassen, obwohl ja derartige Einwirkungen lebender Kulturpflanzen erst in einem folgenden Abschnitt erörtert werden sollen.

Zunächst fällt auch bei der Gründüngung die Bildung von Kohlensäure und Salpetersäure aus der sich zersetzenden Pflanzenmasse auf. Es wird sich dabei vielfach um schnelle Umsetzungen handeln, wie man erst seit verhältnismäßig kurzer Zeit weiß. C. von Seelhorst hat nachgewiesen, daß bei zeitig, etwa im Oktober, untergebrachter Gründüngung rund die Hälfte des Gründüngungsstickstoffs ausgewaschen wurde, zumeist in den Wintermonaten, und so aus dem für die Pflanzen nutzbaren Boden verschwand.[1] Die Ansicht, daß diese Auswaschung nahezu ausschließlich in Form von salpetersauren Salzen stattfindet, wird keinen Widerspruch finden. Es muß demnach der Stickstoff der Gründüngung sehr weitgehend in Salpetersäure übergegangen sein; und es liegt auf der Hand, daß bei einer Umsetzung von stickstoffhaltiger Pflanzenmasse bis zur Salpeterbildung auch Kohlensäure in reichstem Maße entstanden sein muß. Ganz wie eine Stalldüngergabe wird demnach auch die Gründüngung äußerst stark auf die Bildung leicht löslicher Kalkverbindungen und ihre Aufnahme durch das Bodenwasser hinwirken, mit all den günstigen Folgen für die Struktur des Bodens, für die Ausflockung seiner Kolloide.

Und doch werden wieder ganz wesentliche Unterschiede zu beachten sein, die von der Zeit der Unterbringung einerseits des Stalldüngers, andererseits der Gründüngung abhängen. Wir nehmen dabei an, daß die Gründüngung, wie man dies vielfach noch heute beobachten kann, im September bis Oktober untergebracht wird, — in den meisten Fällen, wenn nicht Winterung folgen soll, ein zweifelloser Fehler, der nur gelegentlich durch besondere wirtschaftliche Gründe entschuldbar sein mag.[2])

Die Gründüngung kommt dann im September bis Oktober in die Erde und geht bei dem vielfach noch recht warmen Herbstwetter auf leichterem Boden schnell in Zersetzung über,[3]) wie dies C. v. Seelhorsts Versuche ja zeigen. Es findet, teils durch die Bodenkohlensäure selbst, in weit höherem Maße aber durch die in Lösung gehenden Kalksalze der Salpeter- und

[1]) C. von Seelhorst, Arb. Landw.-Kammer Hannover **34**, 131 u. 134 (1913).

[2]) Vgl. auch P. Ehrenberg, Fühlings landw. Ztg. **59**, 209 (1910).

[3]) Es mag hierbei mitspielen, daß es sich meist um recht stickstoffreiche Leguminosen handelt, und nach E. Wollny, Zersetz. organ. Stoffe (Heidelberg 1897) 108, die Zersetzung organischer Stoffe durch höheren Eiweißgehalt gefördert wird.

Kohlensäure, weitgehende Beeinflussung der Bodenkolloide, also Ausflockung statt.[1]) Im Verein mit der durch das Unterpflügen der Grünmasse erzielten Lockerung des Bodens wären somit die besten Bedingungen für weitgehende und schnelle Erreichung guter Bodengare gegeben.[2])

Aber diese Gare verfehlt ihren Zweck, denn sie strebt deutlicher in Erscheinung zu treten zu einer Zeit, die durch größere Regenmengen die reichlich entstehenden leichter löslichen Kalksalze aus dem Boden auswäscht, so oft sie sich dort auch anzureichern beginnen. Dazu kommt dann, daß die eintretende Kälte des Winters mit der Zeit sowohl der Salpeter- wie der Kohlensäurebildung ein Ziel setzt und so auch die weitere Lösung von Kalksalzen verhindert, während Schneeschmelzwasser und Regen bei Eintreten auch nur etwas milderer Witterung ihre auswaschende Tätigkeit weiter fortsetzen. So ist am Ende des Winters nicht nur alles, was von der Gründüngung leichter löslich war, zersetzt und hat zur Bildung von Kohlensäure und Salpetersäure beigetragen, sondern diese beiden Säuren und mit ihnen die reichlich gelösten Kalkmengen sind auch bereits mehr oder weniger wieder aus dem leichteren Boden ausgewaschen. Das Bodenwasser ist daher arm an Salpetersäure, arm an Kohlensäure und dementsprechend arm an Kalk. Die reichlichen Niederschläge haben weiter lösend auf die Bodenkolloide gewirkt, haben Aufschwemmungen gebildet, und wenn auch die Lockerung durch das Unterpflügen der Gründüngung vor Winter und dann die Frostwirkung wieder günstig auf die Bodenstruktur einwirkten, so ist der Erfolg doch nicht mit dem einer Stalldüngergabe im Frühjahr oder Sommer auch nur annähernd zu vergleichen, wenigstens was die physikalische Beschaffenheit des Bodens anbetrifft. Nicht nur Stickstoffverluste bringt das Unterpflügen der Gründüngung im Oktober auf leichteren Böden, sondern auch Verluste an Kalk, und damit weiter erheblich geringere Wirkungen auf die Bodenstruktur, soweit solche auf dem meist leichteren Boden überhaupt in Betracht kommen. — Es liegt übrigens nahe, daß auch im Herbst untergebrachter Stalldünger, der noch längere Zeit bei milder Witterung der Zersetzung unterliegen kann, in ganz ähnlicher Weise weniger günstige Wirkungen auf die Bodenkolloide ausüben kann, da die Auswaschung des Winters vieles wieder vernichtet, was im Herbst an der Bodenbeschaffenheit gebessert war.

Je schwerer der Boden wird, um so weniger kann solche schädigende Wirkung früherer Unterbringung schon deshalb eintreten, weil die Zer-

[1]) Allerdings wird der leichtere Boden ohnehin weniger Kolloide enthalten.
[2]) Soweit der leichte Boden überhaupt befähigt erscheint, sie zu erreichen.

setzung in dem schwereren Boden langsamer einsetzen und verlaufen dürfte. Doch fehlen zunächst hier noch genauere Untersuchungen. Immerhin werden wir annehmen können, daß auf schwererem Boden die Gründüngung auch bei Unterbringung im Herbst noch günstigere Wirkungen auf die Bodenstruktur ausüben wird, als bei leichterem. Die Auswaschung mit ihren Nachteilen auch für die physikalische Beschaffenheit des Bodens wird aber hier ebenfalls, wenngleich vermindert, bestehen bleiben. Wenn wir dagegen die Gründüngung über Winter stehen lassen und sie erst im Frühjahr unterbringen, so fällt nicht nur, wie C. v. Seelhorsts Untersuchungen zeigen, die Gefahr der Auswaschung für leichteren Boden im wesentlichen fort, sondern es werden auch für die Bodenkolloide anders geartete Beeinflussungen in Betracht kommen. Zunächst genießt der Boden im Spätherbst, Winter und Vorfrühling den Schutz, welchen die stehen gebliebenen Gründüngungspflanzen und ihre zu Boden gefallenen Blätter bieten. Die Prallwirkung der Regentropfen wird so fast völlig ausgeschaltet, ein kleiner Teil der Niederschläge verdunstet wohl auch von den Pflanzen, ohne zu Boden zu kommen. Schnee wird aber festgehalten und so doch wieder Feuchtigkeit dem Boden vermehrt zugeführt, aber nur allmählich und in milder Form.

Das muß günstig auf die Bodenkolloide wirken. Ungünstig dagegen, daß der Frost durch die gleichen Umstände ziemlich weitgehend von dem im Winter noch mit Gründüngung bestandenen Boden ausgeschlossen wird. Handelt es sich um sehr leichten, besonders kolloidarmen Boden, so mag das keine große Rolle spielen, wie dann ja überhaupt die Wirkungen der Bodenkolloide stark zurücktreten. Sobald der Boden aber etwas weniger leicht ist, mag das Ausbleiben der Frostwirkung sich doch unangenehm geltend machen. Besonders wird dies dort gelten, wo sonst der Frost starken Einfluß auf den Boden ausübt. Daher pflüge man in solchem Fall die Gründüngung nach den ersten Frösten unter.

So lange die Pflanzen nicht untergebracht sind, wird bei über Winter stehenbleibender Gründüngung weder die Kohlensäurebildung, noch die Entstehung von Salpetersäure für den Boden eine nennenswerte Rolle spielen. Die Zersetzung der Pflanzenmassen muß zwar unter Umständen ziemlich lebhaft einsetzen, aber die Kohlensäure wird wesentlich in die Luft entweichen und zur Salpetersäurebildung wird es wohl noch nicht in erheblichem Umfange kommen. Nach Unterbringung im Frühjahr aber wird Salpetersäure wohl in gleichem Maße entstehen, wie bei Herbstunterbringung, oder nicht viel weniger, die Kohlensäurebildung dagegen muß stark zurücktreten. So dürfte demgemäß die Lösung des Kalkes im Boden eine geringere sein, was sich wohl auch an dem von

der Beeinflussung der Bodenkolloide abhängigen Zustande der Bodenstruktur geltend machen muß. Mit anderen Worten, auch eine erst im Frühjahr untergebrachte Gründüngung wird sich bei schwereren Böden in ihrer Wirkung auf die Bodengare nicht mit einer im Spätherbst, noch weniger aber mit einer im Frühjahr oder Sommer gegebenen Stalldüngergabe vergleichen können, was ja wohl auch durchaus der praktischen Erfahrung entspricht. Schon eher zeigt im Spätherbst nach den ersten Frösten untergepflügte Gründüngung Annäherung in dieser Richtung.

Was die Wirkung der Gründüngung und ihrer tieferen oder flacheren, früheren oder späteren Unterbringung auf die Kolloide des Bodens und die physikalischen Eigenschaften desselben anbelangt, so liegt auch hier ein weites und leider von exakten, wissenschaftlichen Untersuchungen noch ganz unbeackertes Feld vor. Bisher hat man zu ausschließlich die allerdings sehr bedeutungsvolle Stickstoffwirkung im Auge gehabt. Das gleiche gilt vom Stalldünger. Auch entbehren die bisher vorliegenden Versuche häufig der Paralleldurchführung u. dgl., sie sind allzu-„praktisch" und daher wenig wertvoll.

Außer der durch Kohlen- und Salpetersäure bedingten Lösung von Kalkverbindungen durch die sich zersetzende Gründüngung muß nun noch manch anderer Punkt besprochen werden. Zunächst die Neubildung von Bodenkolloiden durch Gründüngung. Hier wird, ganz ähnlich wie beim Stalldünger, mit Neuentstehung von Humuskolloiden zu rechnen sein, die übrigens, soweit es sich dabei um Humussäuren handelt, durch Bildung schwer löslicher Kalksalze wieder Kalk aus der Bodenlösung entfernen und festlegen werden. Da sich aber nach E. Wollnys Untersuchungen[1]) der humussauere Kalk schneller zersetzt, als reine Humussäure, so wird eine derartige Bindung des Kalkes nicht von so sehr langer Dauer sein. Ebenso wie etwa durch Kalk ausgeflocktes Humuskolloid wird auch die durch Kalk gefällte, nun als kolloider humussaurer Kalk vorhandene Humussäure Bodenteilchen verkitten können. Beides ist für unsere Zwecke hier ja ganz dasselbe. Der Einfachheit halber habe ich auf diesen Umstand sonst keine Rücksicht genommen und nur von dem klebenden Vermögen ausgefällter Humuskolloide oder Humussubstanzen gesprochen. Hier sei dazu darauf hingewiesen, daß man sehr wahrscheinlich die überwiegende Menge der klebefähigen Humussubstanzen durch Ultrafiltration auszusondern vermag.[2]) Allerdings wird durch hydrolytische Wirkung des Wassers aus den Verbindungen der Humussäure, z. B. dem humussauren

[1]) E. Wollny, Zersetz. organ. Stoffe (Heidelberg 1897) 134.
[2]) P. Ehrenberg und F. Bahr, Journ. f. Landw. 61, 468 (1913).

Kalk, immer wieder eine gewisse Menge kolloider Humussäure sich bilden.[1])

Die ebenfalls schon beim Stalldünger hervorgehobene Lockerung des Bodens durch die untergebrachten und dann verwesenden organischen Massen gilt ähnlich auch für Gründüngung. Doch darf man wohl nicht unbeachtet lassen, daß die vielfach zarteren Gründüngungsteile, wie erwähnt, zum erheblichen Teil ziemlich schnell vergehen. So ist nach Winter auch in dieser Richtung ihre Wirkung beendet, während bei Unterbringung erst gegen das Frühjahr auch die Zermürbung der weicheren Teile so weit fortgeschritten sein dürfte, daß sie nur noch recht wenig auf Lockerung des Bodens und die damit verbundene Förderung der Krümelbildung in den Bodenhohlräumen einzuwirken. vermögen. Der Stalldünger mit seinen vielen Strohteilen wird da auch bei Unterbringung im Herbst sehr wahrscheinlich stärkere und länger dauernde Einflüsse ausüben. Dagegen kommt bei der Gründüngung wieder der Umstand in Betracht, daß sie Wurzeln auch tiefer, als die vom Pflug bearbeitete Krumenschicht reicht, in den Boden ausgesandt hat. Diese werden, an Ort und Stelle verwesend, dort mancherlei günstige Einflüsse auszuüben vermögen, Kohlensäure bilden, beim Verwesen Hohlräume zurücklassen, vielleicht auch manchen den Boden lockernden Tieren, wie dem Regenwurm, den Anreiz bieten, dort zu graben. So kann, besonders wenn es sich um tiefwurzelnde Gründüngungspflanzen mit großer Wurzelmasse handelt, eine Verbesserung des Gefüges auch tieferer, unter der Pflugkrume belegener Bodenschichten ermöglicht werden, die wieder einen höheren Wassergehalt für diese bedingt und so die Behauptungen von Schultz-Lupitz,[2]) die freilich erneuter Nachprüfung durchaus bedürftig wären, bestätigen mag.[3]) Es ist eine solche Einwirkung auf die tieferen Bodenschichten und ihre Kolloide bei Gründüngung um so eher zu erwarten, als diese Pflanzen, zumal wenn sie als Stoppelfrucht nach einer Getreidepflanze folgen, bei gutem Stande den Boden, der bereits für eine Pflanzenvegetation das Wasser hat hergeben müssen, noch weiter stark an Wasser erschöpfen, wobei wohl besonders auch der Wasservorrat des Untergrundes herangezogen werden wird. So be-

[1]) Über die zumeist eintretende gegenseitige Lösung vgl. man P. Ehrenberg und F. Bahr, a. a. O. 459 sowie 473—474. Die von E. Wollny und anderen durchgeführten Versuche über biologische und physikalische Eigenschaften und Wirkungen des Humus wären an der Hand der neuen Trennungsmethoden, besonders mit Hilfe der Ultrafiltration, erneut durchzuführen.

[2]) Schultz-Lupitz, Arb. Deutsch. Landw. Gesellsch. **7**, 29 (1895).

[3]) Vgl. z. B. auch P. Ehrenberg, Fühlings landw. Ztg. **59**, 213 (1910).

dingt die Gründüngung zuerst eine nicht unerhebliche Austrocknung dieser tiefen Schichten, die mit Schrumpfung bzw. Schwinden der Bodenkolloide derselben[1]) verbunden sein muß, und dann wieder, wegen der von den lebenden, wie den verwesenden Wurzeln ausgeschiedenen Kohlensäure stärkere Lösung von Kalk und daher minder starkes Wiederaufquellen der Bodenkolloide.[2]) Die Poren des Bodens werden demnach etwas weiter und größer sein als sonst, und damit die Wasserhaltungsfähigkeit gesteigert.

Was die Vermehrung und Anhäufung von Bakterien im Boden anbelangt, so wird hiernach die Gründüngung wohl annähernd den Vergleich mit einer Stallmistgabe erlauben. Denn einmal ist in den Knöllchen der Leguminosen eine ungeheuere Anzahl von Knöllchenbakterien gebildet worden, die bei Verwesung der Wurzeln nun in den Boden eindringen wird, dann aber muß auch die sonstige, von organischen Resten lebende Kleinflora des Bodens durch das Verfügbarwerden so großer Massen von organischer Substanz sich rasch in weitestem Umfange entwickeln. Das beweist ja auch der schnelle Verlauf der Zersetzung. Mit der Bildung von Bakterien und ähnlichen pflanzlichen Bodenbewohnern wird auch wieder das Auftreten kleiner Bodentiere in Zusammenhang stehen, nur daß, falls alle diese Vermehrungen des Lebens im Boden vor dem Eintritt des Winters erfolgen, dieser ihnen bald ein jähes Ende bereiten wird, so daß dann auch Einwirkungen auf die Bodenkolloide von dieser Seite her für die Bestellungsarbeiten im Frühjahr kaum noch Spuren zurückgelassen haben werden. Bleibt aber die Gründüngung über Winter stehen, so dürfte sie bei weitem nicht so schnell und stark auf die Vermehrung der Bodenkleinlebewesen hinwirken.[3])

---

[1]) Natürlich nur bis zu einem gewissen Grade, nicht völlig.

[2]) Daß das Quellen durch löslichen Kalk behindert wird, ist ja oben ausgeführt worden.

[3]) Es mag vielleicht am Platze sein, auch hier noch einmal darauf hinzuweisen, daß außer der Unterbringung im Oktober — bei den C. von Seelhorstschen Versuchen sogar Anfang Oktober — und dem Stehenlassen der Gründüngung bis zum Frühjahr noch ein sehr beachtenswerter Mittelweg möglich ist, nämlich die Unterbringung der Gründüngung möglichst spät im Jahre, nach den ersten mäßigen Frösten, auch wohl, wenn nach einem stärkeren, frühen Froste der Boden wieder aufgetaut ist. Gerade dann, wenn man bei der Gründüngung neben möglichster Ausnutzung ihres Stickstoffgehaltes auf nicht ganz leichtem Boden auch eine recht günstige physikalische Gestaltung des Bodens wünscht, wird dieser Mittelweg vielleicht erhöhte Beachtung verdienen. Man vgl. auch meine Ausführungen in Fühlings landw. Ztg. **59**, 210 (1910). Gerade auf Gründüngungsland kann man ja ferner der noch stehenden Pflanzenmassen halber oft noch den Pflug arbeiten lassen, wenn sonst der Boden schon gefroren ist.

d) Fäkaldünger.

Die menschlichen Ausscheidungen, die meist als Grubeninhalt, nur zum geringen Teil nach Behandlung mit Torfstreu in der Landwirtschaft Verwendung finden, zeichnen sich vor den tierischen Ausscheidungen, wie sie im Stalldünger benutzt werden, durch Abwesenheit von Stroh und ähnlichen schwer zersetzlichen Stoffen aus. Dagegen enthalten sie neben immerhin noch erheblichen Mengen organischer Stoffe zumal ziemlich bedeutende Anteile an Kochsalz.[1]) Werden nun Fäkalmassen, wie dies üblich ist, in nicht ganz geringem Umfange, 10—15 cbm auf den Morgen, verabfolgt, so wird die eintretende Entwicklung von Kohlensäure, unter Mitwirkung des im Boden vorhandenen Kalks, leicht die bereits mehrfach besprochene Sodabildung aus Kochsalz herbeiführen. Damit erklärt sich die auch nicht selten aus der Praxis mitgeteilte, ungünstige Wirkung von Fäkaldüngung auf das Gefüge des Bodens, und die dabei hervorgehobene Verschlämmung und Verkrustung.[2]) Hat sich dabei der Boden erst einmal geschlossen, so wird, wie in allen diesen Fällen, wahrscheinlich der Vorgang sich noch ungünstiger gestalten, wenn man nicht bald für Beseitigung der Kruste sorgt; denn es muß nun der Gehalt der Ackerkrume an Kohlensäure sich erhöhen, da ja deren Entweichen in die freie Luft beeinträchtigt wird, und damit die in Lösung gehende Menge kohlensauren Kalks im Boden steigen, wodurch sich dann auch die entstehende Sodamenge erhöht. Gleichzeitige Verwendung von Superphosphat dürfte als geeignetes Abhilfsmittel in Betracht kommen. Zumal soll Latrine in flüssigem Zustande ungünstiger wirken, als daraus mit Strohhäcksel hergestellter Fäkalmist, wahrscheinlich, weil die durch das Stroh herbeigeführte, rein mechanische Lockerung des Erdbodens fortfällt. Ob die mit Zersetzung fetthaltiger Bestandteile der Fäkalien möglicherweise zusammengehende, vorübergehende Entstehung höherer Fettsäuren ebenfalls das Bodengefüge schädigt, ist noch nicht zu beurteilen, immerhin aber möglich.[3])

e) Kompostdüngung.

Wenn von Kompostdüngung die Rede ist, wird stets hervorgehoben daß es sich dabei um einen ausgesprochenen Dünger für Grasland handelt. Unsere bisherigen Ausführungen, besonders über Durchschlämmung

---

[1]) A. Mayer, Lehrbuch der Agrikulturchemie **2** (2), 90 (1905).

[2]) M. Hoffmann, Mittlg. Deutsch. Ldw. Gesellsch. **31**, Sonderdruck, 13/14 (1916).

[3]) Vgl. oben 301.

feiner und feinster Bodenteilchen, vermögen dies ungezwungen auch theoretisch zu erklären.

Wenngleich der Boden auf Grasland in ganz erheblicher Weise gegen die verschlämmende Wirkung des Regens und seinen Aufprall geschützt ist, und die ständige Bildung von Kohlensäure in dem reich durchwurzelten Boden[1]) wie sie Th. Schösing d. J.[2]) beobachtete, auch der Durchschlämmung entgegenwirkt, weil sie dem Auftreten von Aufschwemmungen hinderlich ist,[3]) so können die jahraus, jahrein niederfallenden Niederschläge doch nicht völlig ohne Wirkung bleiben. Sei es noch so wenig, etwas feine Bodenteilchen, Kolloide — natürlich wieder im weiteren Sinne — nimmt das Wasser doch mit in die Tiefe, zumal direkt von der Bodenoberfläche her, wo der Regen immer noch am stärksten aufschlägt, auch wenn nicht viele Tropfen ungehindert so weit kommen. Auch der Wind entführt bei trockener Witterung im Winter wohl leicht einmal oberflächlich gelegene Teilchen oder befördert durch Rütteln an den Halmen und Blättern ihr Niedergleiten. Und wenn auch andererseits absterbende Blätter und durch den Wind hinzugeführter Staub wieder neue Bodenschichten auf den Wurzeln zu bilden suchen, so wird das doch häufig nicht in besonders weitem Umfange geschehen können, um so mehr, als man ja den Pflanzenwuchs der Grasländereien noch bis weit in den Herbst hinein durch Beweiden zu nutzen sucht, und so recht kurz hält. Ganz andere Verhältnisse liegen für landwirtschaftlich nicht genutztes, höchstens durch weidendes Wild wenig im Wachstum beschränktes Grasland vor.

Es kommt auch wohl noch hinzu, daß die obersten Schichten des Bodens von Grasland eine mehr und mehr humose Beschaffenheit annehmen müssen. Wird nun nicht Kalk als Düngemittel verabreicht, oder ist das Land nicht ziemlich reich an Kalk, so wird sehr leicht zum mindesten in den alleroberstem Bodenschichten gelegentlich bei stärkeren Niederschlägen vorübergehend Kalkmangel auftreten können. Dann ist aber für die Humusstoffe die Möglichkeit gegeben, als Schutzkolloide zu wirken, und es werden so feine Bodenteilchen in erhöhtem Maße aus den oberflächlichen Schichten ausgewaschen werden. Jede, ja aus anderen Gründen sehr erwünschte Lockerung des Wiesen- oder Weidenbodens, sei sie durch Austrocknen und Wiederbefeuchtung

[1]) Z. B. R. Lau, Inauguraldissertation (Rostock 1906) u. a. 27. Später wird hierüber noch eingehender zu sprechen sein.

[2]) Th. Schlösing d. J., Compt. rend. **109**, 618 u. 673 (1889).

[3]) Natürlich wieder sowohl durch Bildung leicht löslicher Kalksalze wie auch direkt.

oder durch den Menschen oder endlich noch anderweit, etwa durch Frost, bedingt, muß der Verarmung der obersten Schicht des Graslandes an feinen Bodenteilchen durch Hinabwaschung behilflich sein.

Auf der Weide wird jedoch der Tritt der Tiere, neben den vielen anderen Wirkungen, die er ausübt, der Hinabwaschung dadurch etwas entgegenarbeiten, daß er Hohlräume im Boden schnell schließt; weiter auch die Folgen der Durchschlämmung, die Entblößung der zu oberst liegenden Wurzeln zum Teil beseitigen, indem er sie wieder gegen die Erde preßt.

Immerhin wird schon auf der Weide, und noch mehr auf der Wiese, im Laufe langer Zeit die oberste Bodenschicht mehr und mehr in ein Gewebe von Wurzeln mit gröberen Bodenteilchen übergehen, während die feinsten Teile in vielleicht nur wenig tiefere Schichten versinken. Der Frost, der den Boden lockert und unter Umständen die Pflanzenstöcke hebt, mag dabei noch besonders mithelfen. Ähnlich gewiß auch sehr tiefgehendes Abmähen mit der Hand.

Da wirkt nun die Übererdung, welche jede Kompostdüngung mit sich bringt, selbstverständlich besonders günstig. Auf Grasland, wo die Durchschlämmung sich zwar erheblich weniger als auf Ackerland, aber doch immerhin im Laufe der Zeit vielfach namhaft bemerkbar machen muß, eine wendende Pflugwirkung aber nicht in Betracht kommt, kann man vielleicht schon im Hinblick auf diese Wirkung eine ausreichende Kompostdüngung als etwas in längeren Zwischenräumen direkt Notwendiges bezeichnen. Das wird um so mehr der Fall sein, je weniger durch von höherem Gelände heranfließendes, Kolloide mit sich führendes Wasser der Wiese ein Ersatz geschaffen wird.

Es ist ja allgemeine Ansicht, daß der Kompost nicht nur durch die in ihm enthaltenen Pflanzennährstoffe wirkt, man schätzt ihn besonders auch wegen der Anregung für die Bestockung, den dichteren Schluß der Wiesen- und Weidengräser. Mir ist nicht bekannt, daß man bisher dem Grund dafür weiter nachgegangen wäre, und es dürfte in dem soeben Gesagten, in der Wiederumhüllung der höher gelegenen Wurzelteile und Wurzelstöcke mit Boden, der nicht zu sehr an feinsten Teilchen verarmt und daher adsorptionskräftig ist, eine wohl ganz brauchbare Erklärung zu finden sein. Sie steht auch mit der Tatsache in Einklang, daß nach kürzerer oder längerer Zeit immer wieder eine Kompostdüngung erforderlich wird oder wenigstens den größten Nutzen bringt.

Die Kompostwirkung für die Wiese und Weide beschränkt sich aber, soweit Kolloidfragen in Betracht kommen, nicht auf das soeben Erwähnte. Zunächst zeigt die aufgebrachte Erde, falls der Kompostbereitung auch

nur einige Sorgfalt geschenkt war,[1]) bestes Krümelgefüge, das demnach Witterungsschädigungen einigen Widerstand bieten wird. Denn in dem Komposthaufen fehlt es nicht an verwesender organischer Masse, die Kohlensäure und Salpetersäure bildet, und ebensowenig an kohlensaurem Kalk. So kann denn die Krümelbildung dort um so besser von statten gehen, als mindestens alle halbe Jahre der Komposthaufen völlig umgearbeitet und in tadellos durch und durch gelockertem Zustand wieder aufgesetzt wird,[2]) und nun die Krümelbildung durch Hinabführung von Bodenkolloiden in den Spalten und Hohlräumen und sich daran anschließende Vorgänge in der erwähnten Weise sich mehr und mehr ausdehnen kann.

Der Kompost bringt dann weiter noch zum Teil schon recht leicht lösliche Kalksalze, die alsbald zur Wirkung kommen können, auf die Wiese. Zum Teil sind sie zwar noch schwer löslich, finden aber in der Narbe des Graslandes nach Erwachen der Vegetation bald Kohlensäure genug vor, um mit der Zeit in Lösung zu gehen. Zwar bringt auch der Kompost selbst organische Massen mit sich, die ihrerseits noch auf der Wiese oder Weide Kohlensäure liefern können, doch ist deren Bedeutung vergleichsweise wohl keine erhebliche, da es daran auf Grasland kaum fehlen dürfte. Der kohlensaure Kalk dagegen, den der Kompost zuführt und der ja auch in der Praxis als unentbehrlicher Bestandteil des Kompostes gilt, wird gerade in den obersten Schichten leicht etwas knapp werden. Die Auswaschung durch Regen und die Bildung von Humussäuren sowie Kohlensäure und Salpetersäure aus den Überresten der Gräser u. dgl. vereinigen sich da in ihren Wirkungen, und je mehr die feineren Teile ausgewaschen werden, um so weniger kommt kapillare Hebung kalkhaltigen Bodenwassers aus tieferen Schichten in Betracht. Dazu tritt der Verbrauch von Kalk aus der Bodenlösung, und gerade ihren oberen Anteilen, durch die Wiesenpflanzen. — Auch Bodenkolloide bringt die Kompostdüngung auf das Grasland. Einmal Humusstoffe, an denen indes der Bedarf dort kaum erheblich sein mag, da genug an Ort und Stelle entstehen. Dann aber mineralische Kolloide, die einmal wegen ihrer in den oberen Schichten gewiß sehr geringen Neubildung, dann aber auch der hier recht langsam, aber sicher vor sich gehenden Hinabwaschung halber für das Grasland äußerst erwünscht sein müssen. Kann doch auch hier kein Pflug die etwa an anderen Stellen neu entstandenen oder auch nur angehäuften mineralischen Bodenkolloide nach oben bringen, und muß doch auch aus den

[1]) Was bedauerlicherweise in der Praxis recht oft nicht der Fall ist!
[2]) oder, wie man leider wieder sagen muß: werden sollte.

schon erwähnten Gründen die hebende Wirkung kapillar aufsteigenden Wassers in der Nähe der Oberfläche versagen.

Der Kompost dagegen, bzw. seine Grundmasse, ist vielfach aus Gräben, Teichen und von anderen Orten entnommen, an denen der Regen aus dem Acker fortgeführte Bodenkolloide absetzt. Er hat, unter starker Entwicklung von Kohlensäure in seinem Inneren und bei genügender Durchlüftung, der Witterung ausgesetzt gelegen, ist, wenn man ihm die richtige Sorgfalt widmete, dann vor Winter umgearbeitet worden, so daß er Feuchtigkeit aufnehmen und dem Frost ein weites Arbeitsfeld schaffen konnte. Dann wird er in der Regel, ausgereift, im folgenden Winter ausgefahren und in dünner Schicht ausgebreitet, so daß auch hierbei noch der Frost stark zu wirken vermag. So werden auf diese Weise gerade die mineralischen Bodenkolloide, welche der Graslandboden unter unseren Niederschlagsverhältnissen leicht aus seiner Oberfläche verliert, ihm im Kompost in geeigneter Form wieder zugeführt. — Daß in Steppengebieten die Verhältnisse wesentlich anders liegen, indem hier die Zufuhr von feinsten Teilchen durch Wind[1]) eine weit größere Rolle spielt und auch weiter die Regenwirkung sich anders gestaltet, bedarf wohl kaum noch der Erwähnung.

Auch wird es einleuchten, daß auf Grasland, das regelmäßig mit auch nur etwas schlammhaltigem Wasser überflutet wird, wie das ja in vielen Flußniederungen der Fall ist, die Bedeutung des Kompostes ebenso zurücktritt, wie sie steigt, wo eine regelmäßige Bewässerung mit fast völlig der Sinkstoffe entbehrendem Wasser durchgeführt wird, zumal wenn dies kalkarm ist.[2])

3. Düngemittel ohne erhebliche Mengen organischer Stoffe.

Schon der Kompost nahm gewissermaßen eine Übergangsstellung von den zu erheblichen Anteilen aus organischer Masse bestehenden Düngemitteln, wie Stalldünger, Jauche, Gründüngung und Fäkalien, zu jenen ein, die nur in ganz nebensächlichem und verschwindendem Maße verbrennliche Stoffe in den Boden einführten. Immerhin enthielt er noch erhebliche Mengen davon. Jetzt wenden wir uns der Wirkung jener Düngemittel auf die Bodenkolloide zu, welche reine Salze oder Erden darstellen.

[1]) Man denke an die Lößbildung!

[2]) Wie im Gebiet sauerer Eruptivgesteine, Granit u. dgl., auch ähnlich zusammengesetzter kristalliner Schiefer, z. B. Gneiß.

a) Kalk.

aa) Theoretisches über die Wirkung des Kalks im Boden.

α. Allgemeines.

Je nach der Form der Kalkdüngung ist kohlensaurer Kalk, schwefelsaurer Kalk oder Gips, phosphorsaurer Kalk, Kalksalpeter, Kalkstickstoff und gebrannter Kalk zu unterscheiden. Der kohlensaure Kalk wird im Mergel,[1] wie er in der Wirtschaft gegraben wird, im Scheideschlamm der Zuckerfabriken und im Kalksteinmehl und Handelsmergel benutzt;[2] der phosphorsaure im Knochenmehl, das auch etwas kohlensauren Kalk enthält, im Superphosphat, Thomasmehl und anderen Phosphatdüngern des Handels, wie in den Rohphosphaten. Schwefelsaurer Kalk wurde früher viel direkt, und nach den Berichten oft mit erheblichem Erfolge zur Düngung benutzt.[3] Heute wird er unbeabsichtigt mit Superphosphat und Ammoniaksuperphosphat in großen Mengen dem Acker zugeführt; auch als[4] Einstreumittel für den Stalldünger ist er noch im Gebrauch und gelangt so in den Boden. Als direkt angewandtes Düngemittel spielt er kaum eine Rolle. Kalksalpeter[5] kommt neuerdings als Stickstoffdüngemittel auf den Acker, ebenso Kalkstickstoff, nur daß der letztgenannte in kurzer Frist in kohlensauren Kalk und kohlensaures Ammoniak übergeht. Der gebrannte Kalk wird entweder schon gemahlen oder als sog. „Kalkasche", mit mehr oder weniger kohlensaurem Kalk und Verunreinigungen gemischt, angewandt. Man bezieht ihn aber auch als Stückkalk, und streut ihn erst, nachdem er sich selbst in erdbedeckten Haufen gelöscht hat. Endlich bringt auch das Thomasmehl wie der Kalkstickstoff[6] gewisse Mengen von gebranntem Kalk in die Erde, und aus ihnen bildet sich bei längerer Lagerung an der Luft auch kohlensaurer Kalk. Je nach diesen Verschiedenheiten wird auch die Wirkung auf die Bodenkolloide wechseln.

Wenn wir uns über dieselbe klar werden wollen, so müssen wir zu-

[1]) Tonmergel wird auch noch durch seinen Kolloidgehalt bedeutungsvoll sein.

[2]) Daß auch im Kompost der Gehalt an Kalk eine große Bedeutung besitzt, wurde oben erwähnt.

[3]) Man vgl. die geschichtlichen Angaben bei E. Heiden, Düngerlehre, 2, 756 (Hannover 1887). Weiter J. Boussingault, Landwirtschaft, 2. Aufl. 2, 122 (1861). J. N. von Schwerz, Prakt. Ackerbau 2, 453 (1825) u. a. m.

[4]) wenig zweckmäßiges.

[5]) Er ist in gleicher Weise wie der Kalkstickstoff später bei den Stickstoffdüngemitteln besprochen.

[6]) Er ist ebenso wie der Kalksalpeter später bei den Stickstoffdüngemitteln besprochen.

nächst unter Hinweis auf das bereits in der Einleitung Gesagte[1]) einige theoretische Überlegungen bringen.

Die Bodenkolloide weisen fast alle negativ-elektrische Ladung auf.[2]) Sogar Aluminium- und Eisenhydroxydkolloid dürften sich nach neuesten Ermittelungen als eigentlich elektrisch negativ erweisen, freilich bei vielen der üblichen Herstellungsarten durch adsorbierte Ionen umgeladen,[3]) was allerdings wohl noch weiterer Feststellungen bedarf. Entsprechend werden die positiv geladenen, die Metallionen,[4]) ihrer Wertigkeit entsprechend mehr oder weniger fällenden Einfluß ausüben. Die Anionen dagegen müssen die Fällung hemmen bzw. aufteilend wirken.[5]) Freilich ist auch dies unter Umständen durch den Einfluß verwickelt und ins Gegenteil verkehrt, den z. B. adsorbiertes Hydroxylion auf die Anlagerung weiterer Kalziumionen und damit die Steigerung der fällenden Wirkung derselben ausübt.[6]) So darf man sagen, daß Hydroxylion neben größeren Mengen von Kalziumion, danach Kalziumion allein, fällungsfördernd wirken, dagegen Hydroxylion neben sehr geringer Menge von Kalziumion, sowie vermutlich auch die Sulfat-, Karbonat- und Phosphationen fällungshemmend sich betätigen, ebenso das Chlorion, dies aber wohl nur recht wenig. Indes nicht nur das bloße Vorhandensein, sondern auch die Konzentration und die Adsorbierbarkeit dieser Ionen sind natürlich sehr bedeutungsvoll. Ist z. B. die Konzentration eines fällenden Ions so gering, daß der „Schwellenwert"[7]) nicht erreicht wird, so bleibt seine Wirkung ganz oder teilweise aus. Also ist neben der Bildung der Ionen auch die Löslichkeit der in Betracht kommenden Salze von

[1]) Vgl. oben 34 u. f.

[2]) P. Ehrenberg, Mitteil. landw. Inst. Breslau 4, 478 u. f. (1908).

[3]) T. Malarski, Zeitschr. f. Kolloidchemie 23, 113 (1918). S. E. Mattson, Kolloidchemische Beih. (1922).

[4]) Einschließlich des Wasserstoffions, des wirksamen Bestandteils der Säuren, des Ions des „gasförmigen Metalls".

[5]) Auch A. D. Hall vertritt die Ansicht, daß die Flockungsfähigkeit eines Salzes sowohl mit dem Anion, wie dem Kation wechseln kann; The soil (London 1908) 37/38.

[6]) S. E. Mattson, Kolloidchemische Beih. (1922), dessen Ausführungen hier leider nicht ausreichend berücksichtigt werden konnten, da andernfalls die Änderungen den verfügbaren Raum überschritten hätten.

[7]) G. Bodländer, Nachr. Ges. Wissensch. Göttingen (1893) 271. Es soll übrigens auch die Konzentration der zu fällenden Verteilung, also hier der Bodenkolloide, eine Rolle für die Lage des Schwellenwertes spielen, indem diese bei größerer Verdünnung höher ist. Sind also wenig Kolloide in viel Wasser verteilt,

großer Bedeutung, und die wechselt ja gerade bei den Kalksalzen bekanntlich stark. Es wird demnach die Beurteilung der Einwirkungen unserer Kalksalze auf die Bodenkolloide sich nicht gerade allzu einfach gestalten.[1]) Wie ich das auch früher betonen konnte,[2]) wird wohl allgemein für kolloidreiche Böden, also Tonböden, dem Ätzkalk eine erheblich bessere Wirkung in physikalischem Sinne zugeschrieben, als den anderen Arten von Kalkdünger. Doch, und das ist interessant und bislang wohl noch in keiner Weise voll geklärt, zumal bei starken Ätzkalkdüngungen hat man auch ungünstige Wirkungen sowohl auf Mineral- wie auf Moorböden beobachten können.[3]) Auf den Ätzkalk folgt in der Wirkung nach allgemeinem Urteil der kohlensaure Kalk in seinen oben genannten verschiedenen Formen. Man benutzt ihn gern dort, wo man die zu starke Wirkung des Ätzkalks bezüglich der Umsetzung der Humusstoffe im Boden scheut. Während dann der phosphorsaure Kalk auf seine Kalkwirkungen hin kaum geprüft worden ist, soweit wenigstens die physikalische Beschaffenheit des Bodens in Frage kommt — man erwartete und beachtete eben nur die mehr interessierende Phosphorsäurewirkung —, darf ich für Gips wohl behaupten, daß man bei ihm niemals erheblich an eine Wirkung auf die Bodenstruktur und damit auf die Bodenkolloide gedacht hat. So führt E. Heiden in seinem für die damalige Zeit gewiß musterhaften Lehrbuch unter der Überschrift: „Einfluß des Gipses auf das physikalische Verhalten der Ackererden“ nur die von J. Sachs[4]) beobachtete Einwirkung des Gipses auf die Wasserabgabe durch die Pflanzen[5]) an. Man hatte demnach eine andere irgendwie geartete Wirkung auf das physikalische Verhalten des

so bedürfte es danach einer größeren Konzentration des fällenden Ions, um sie auszufällen, als wenn die gleiche Kolloidmenge in weniger Wasser verteilt war. Vgl. J. Billitzer, Zeitschr. physik. Chem. **51**, 135, 145 (1905). Noch andere Verhältnisse liegen z. B. beim Ton vor, der sehr große Mengen fein verteilter Sande mit mäßigen Mengen Kolloidton in wenig Wasser darstellt. Vgl. u. a. G. Given, Inauguraldissertation Göttingen (1915).

[1]) Meine diesbezüglichen früheren Ausführungen berücksichtigten bei weitem nicht alle Bedingungen. Ja, auch hier kann ich im Interesse der erwünschten Übersichtlichkeit und Klarheit nicht jeden Umstand hervorheben.

[2]) P. Ehrenberg, Mitteil. landw. Inst. Breslau **4**, 477 (1908).

[3]) Vgl. z. B. F. Grouven, Zeitschr. landw. Zentralvereins Sachsen (1863) 67. Auch aus den Vereinigten Staaten von Nordamerika liegen solche Erfahrungen vor. Vgl. unten 573.

[4]) Vgl. J. Sachs, Landw. Versuchsstat. **1**, 203 (1859). Auch A. Burgerstein, Ber. Wiener Akad. Wiss. **73**, Märzheft (1876).

[5]) E. Heiden, Düngerlehre, 2. Aufl., **2**, 778 (Hannover 1887).

Ackers nicht beobachten können. Auf ganz anderer Grundlage beruht die von E. W. Hilgard und anderen hervorgehobene günstige Wirkung von Gips auf sodahaltige sog. „Alkali"-Böden,[1]) die von T. Takeuchi sogar auf die alkalische Reaktion im Boden nach Chilesalpeterdüngung ausgedehnt wird.[2]) Wir werden sie noch weiterhin zu besprechen haben. Es handelt sich bei ihr aber, wie ja oben bereits genügend klar gelegt worden ist,[3]) nicht sowohl um eine direkte Wirkung auf den Boden, sondern vielmehr um eine nach dem Massenwirkungsgesetz verlaufende Einwirkung auf den Gehalt des Bodens an kohlensaurem Natrium.

So können wir demnach, wie ich das bereits früher[4]) hervorgehoben habe, wahrscheinlich eine Wirkungsreihe vom stark wirksamen Ätzkalk über den schwächeren Einfluß ausübenden kohlensauren Kalk zum fast wirkungslosen Gips für die physikalischen Bodeneigenschaften, und damit im wesentlichen die Bodenkolloide aufstellen, für die manche Einzelheit und Erklärung nun noch weiter zu geben ist:

Wie schon erwähnt, ist niemals nur auf ein etwa fällend wirkendes Ion allein Rücksicht zu nehmen, sondern stets auch die Gegenwirkung des daneben vorhandenen Ions zu beachten,[5]) wenn auch vielfach die letztere sehr zurücktreten mag. Freilich wohl nicht im vorliegenden Falle.

β. Gebrannter, beziehungsweise Ätz-Kalk.

Was zunächst die Wirkung des direkt verwendeten gebrannten Kalks in gemahlener Form oder der unter Umständen[6]) ähnlichen Kalkasche anbetrifft, so wirkt er, in den Boden gelangt, zunächst durch sein

---

[1]) Oben 366 ff.

[2]) T. Takeuchi, Bull. Coll. Agriculture Tokyo 7, 5 (1906).

[3]) Oben 366 ff.

[4]) P. Ehrenberg, Mitteil. landw. Inst. Breslau 4, 477 (1908).

[5]) Ebendort 454 ff. Ferner u. a. z. B. H. Freundlich, Kapillarchemie (Leipzig 1909) 352; Wo. Ostwald, Grundriß d. Kolloidchemie, 1. Aufl. (Dresden 1909) 484. Die hier vorliegenden Verhältnisse der Gegenwirkung der zusammengehörigen Ionen bei der Fällung sind wohl noch durchaus nicht voll geklärt. Daß nicht selten jedenfalls die Wirkung des fällenden Ions durch die des nicht fällenden beeinflußt wird, zeigt z. B. folgende Beobachtung:

Es fällte

Al_2Cl_6 1518 mal so stark
$Al_2(SO_4)_3$ nur 957 mal so stark wie Jodkalium,

wohl wegen des stärkeren, entgegengesetzten Einflusses der zweiwertigen SO_4''-Ionen. Vgl. Arthur Müller, Allgem. Chem. d. Kolloide (Leipzig 1907) 48. Die häufig zu findende Behauptung, daß nur das fällende Ion eine Rolle spielt, dürfte demnach wohl kaum in dieser Allgemeinheit zutreffen.

[6]) Wenn sie frisch und rein ist, was häufig nicht der Fall sein wird.

Bestreben, Wasser anzuziehen, sich zu löschen und die damit zusammengehende Wärmeentwicklung,[1]) zuletzt auch durch die damit zusammengehende Ausdehnung seines Volums auf das Doppelte bis Dreifache. Diese, dem gebrannten Kalk allein eigenen Eigenschaften können schon einen Einfluß auf die Bodenkolloide äußern und das Bodengefüge verändern.

Hat sich der gebrannte Kalk im Boden abgelöscht oder wurde er gleich als Ätzkalk angewendet,[2]) so muß sich seine Wirkung[3]) — da die Folgen des Löschvorganges fortfallen — im wesentlichen abhängig erweisen:

1. von der Adsorption und der damit zusammengehenden, fällenden Wirkung des Kations, also des Kalziumions.
2. von der Adsorption und dem damit zusammengehenden, im allgemeinen verteilenden und der Fällung entgegenwirkenden Einfluß des Anions, also des Hydroxylions und der daraus durch die Bodenkohlensäure entstehenden Karbonationen, CO''_3 und zumal HCO'_3.
3. Von der Wirkung des besonders stark adsorbierten Hydroxylions auf die Adsorption von Kalziumionen.[4])
4. Von der mit in Reaktion tretenden Kohlensäuremenge bzw. weiter von dem Vorhandensein von Kalziumbikarbonat in der Bodenlösung.
5. von der von mir als chemische Wirkung gedeuteten Aufnahme des Kalziumhydroxyds in das Innere der Kolloidtonteilchen bzw. anderer Kolloide.
6. von der Konzentration der Ionen, also der Löslichkeit des Kalks, der Höhe der verabfolgten Gabe desselben und dem Einfluß anderer vorhandener Ionen, Temperatur usw.

Je nach der verabfolgten Gabe von Ätzkalk und der im Boden vorhandenen Menge von Kohlensäure und Kalziumkarbonat kann z. B., wenn gerade wesentlich Kalziumkarbonat entstehen sollte, ohne daß erhebliche Mengen der zusammenwirkenden Verbindungen sonst übrigblieben, infolge der Schwerlöslichkeit des entstehenden Kalksalzes die Wirkung zunächst gering sein, wenn weitere Kohlensäurebildung mehr oder weniger ausbleibt. Freilich wird dieser Fall selten sein. In bestimmten Konzentrationen wird Ätzkalk weiter verteilend wirken können und sonach das Bodengefüge schädigen.

[1]) Ganz allgemeiner Hinweis, ohne nähere Angaben, schon bei E. Heiden, Düngerlehre (Hannover 1887) **2**, 813/814.

[2]) Wie dies der Fall ist, wenn man Stückkalk bezieht, und ihn etwa in mit Erde zugedeckten Haufen sich selbst ablöschen läßt.

[3]) Vgl. z. B. H. Niklas, Intern. Mittlg. Bodenk. **3**, 393 (1913).

[4]) S. E. Mattson, Kolloidchemische Beih. (1922).

Diese theoretischen Überlegungen werden, so wenig sie auch zunächst zur praktischen Erfahrung zu passen scheinen, durch den Versuch bestätigt. G. Given[1]) fand bei einem Ausflockungsversuch mit verschiedenen Kalksalzen bei 100 ccm Lösung mit 0,092 g Ton die Flüssigkeit

Salzgehalt an Millimols im Liter	für zum Vergleich benutztes Kalksalz:				
	$CaCl_2$	$Ca(NO_3)_2$	$CaSO_4$	$Ca(HCO_3)_2$	$Ca(OH)_2$
0,0625	trübe	trübe	trübe	trübe	trübe
0,0713	,,	,,	,,	,,	,,
0,0832	klar	klar	,,	,,	,,
0,1000	,,	,,	,,	?	,,
0,1250	,,	,,	,,	klar	,,
0,1667	,,	,,	klar	,,	,,
0,2000	,,	,,	,,	,,	,,
0,2667	,,	,,	,,	,,	,,
0,4000	,,	,,	,,	,,	klar

Der Ätzkalk zeigte sich somit sämtlichen in Betracht kommenden Kalkverbindungen in seiner Fällungskraft deutlich unterlegen. Ähnlich stellte W. Durham, bei ähnlichen Versuchen, schon fest, daß Ätzkalk eine negative Flockungsfähigkeit besitze.[2]) Selbstverständlich muß Kohlensäure ausgeschlossen sein.[3]) Das gleiche Ergebnis erhielten endlich A. D. Hall und C. G. T. Morison, auf deren weiter unten angeführte Zahlen hier verwiesen sei,[4]) und auch P. Rohland.[5]) Sogar Versuche von E. Wollny lassen sich anführen.[6]) Immerhin wirkt von einer gewissen Grenze an, wie sich das aus allgemeinen Erfahrungen über Adsorption und Neutralisation der Ladungen feinster Teilchen schließen läßt, und wie dies auch G. Givens Versuch bestätigt, der Ätzkalk auch fällend. Nach

[1]) G. Given, Inauguraldissertation Göttingen (1915) 7.

[2]) W. Durham, Chem. News **30**, 57 (1874).

[3]) Geringer Kohlensäuregehalt der Luft scheint wenig Bedeutung zu haben, vgl. G. Given, Inauguraldissertation Göttingen (1915) 7.

[4]) A. D. Hall und C. G. T. Morison, Journ. Agric. Science **2**, 251 (1907/8). Siehe unten 583, Anm. 5.

[5]) P. Rohland, Zeitschr. anorg. Chem. **41**, 325 (1904), findet wenigstens, daß Kalziumhydroxyd noch weniger ansteifend auf Tonbrei wirkt, als sogar Alkalihydroxyde. Die Wirkung war hervorragend stark z. B. bei Salpetersäure, deutlich vorhanden bei Ätzkali und Ätznatron, schwach bei Soda, aber sehr schwach bei Kalziumhydroxyd.

[6]) Vielleicht weniger E. Wollny, Forsch. Geb. Agrikulturphysik **20**, 449 und 467 (1897/8), wohl aber ebendort 484, wo Wollny davon spricht, daß durch das Kalkhydrat der Boden in feuchtem Zustande zum Teil eine eigentümlich gallertartige Beschaffenheit annimmt, infolgedessen er befähigt wird, eine größere Wassermenge zurückzuhalten, als im unveränderten Zustande.

H. Freundlich wird bei höheren Konzentrationen in solchen Fällen zunehmend neben dem Hydroxylion auch das Kation, hier also Kalziumion adsorbiert, wodurch der aufschwemmenden Wirkung entgegengearbeitet, mancherlei Störung der elektrischen Ladungsverhältnisse veranlaßt, und schließlich Ausflockung bedingt wird.[1])

Immerhin würden diese, im Versuch nachgewiesenen Tatsachen uns, anstatt eine Erklärung liefern zu können, nur durchaus in Verwirrung setzen. Denn dem als weitaus am stärksten wirkenden Einfluß des Ätzkalks auf das Bodengefüge, wie ihn die Praxis kennt, steht hier eine hinter allen anderen Kalksalzen zurückstehende Ausflockungsfähigkeit gegenüber.

Wir werden daher vielleicht der chemischen Wirkung des Kalks, seiner Aufnahme in das Innere der Kolloidtonteilchen größere Aufmerksamkeit widmen müssen, wenn wir einer brauchbaren Deutung der Kalkwirkungen auf die Bodenkolloide näher kommen wollen. Dabei wird sich dann zeigen, daß eine solche durchaus in Übereinstimmung mit den soeben geschilderten Erscheinungen auf dem Gebiet der Ausflockung und Adsorption möglich ist.

Schüttelt man steigende Mengen von Ton zum Teil mit Lösungen von Gips — Kalziumsulfat — und von Ätzkalk, so ergibt sich ein sehr verschiedenes Bild,[2]) das aus der folgenden Zusammenstellung ersichtlich ist:

	Konzentration der Lösungen	
	Kalziumsulfat 0,166 Millimol i. l.	Kalziumhydroxyd 1 Millimol i. l.
0,6 g Ton	ausgefällt, klar	ausgefällt, klar
1,2 g Ton	ausgefällt, klar	noch mäßig getrübt
1,8 g Ton	ausgefällt, klar	völlig aufgeschwemmt u. trüb.

Für das Kalziumsulfat und seine Fällung ausübende Wirkung spielt anscheinend die Menge des zugesetzten Tons überhaupt keine Rolle; die Fällung bleibt ausgesprochen vorhanden. Dagegen nimmt mit steigender Tonmenge die Fällungswirkung des Ätzkalks mehr und mehr ab, um bald gänzlich zu verschwinden, der Ton bleibt aufgeschwemmt. Daß der Ätzkalk dabei aus der Lösung weitgehend verschwindet und vom Ton aufgenommen wird, konnte nachgewiesen werden.[3])

Es sind zwei Erklärungsmöglichkeiten vorhanden: Einmal könnte man annehmen, daß die Aufnahme von Kalk durch Ton mit der ver-

[1]) H. Freundlich, Kapillarchemie (Leipzig 1909) 353/354.
[2]) G. Given, Inauguraldissertation Göttingen (1915) 9.
[3]) Derselbe a. a. O. 14. Vgl. auch unten 586.

wendeten Menge desselben so stark steigt, daß die Kalziumhydroxydlösung schon bei 1,2 g Ton, mehr noch bei 1,8 g nicht mehr den Schwellenwert erreicht, also auch nicht mehr ausflocken kann; derart wird nur die aufschwemmende Wirkung der Hydroxylionen noch bemerkbar. Für die Gipslösung zeigen sich derartige Erscheinungen nicht, weil Kalziumsulfat in sehr erheblich geringerem Umfange aufgenommen wird,[1]) so daß bei dem viel niedriger liegenden Schwellenwert für dies Salz die verbleibende Menge immer noch ausreicht, um die Fällung zu sichern.

Dann kann man aber zweitens mit der Möglichkeit rechnen, daß für die hier behandelten Fälle ein Basenaustausch gegen adsorbiertes Wasserstoffion in Betracht kommt, wie seiner oben [2]) gedacht wurde. Dieser vielleicht besonders wichtigen Erklärungsmöglichkeit kann hier leider nicht weiter Raum gegeben werden, weil sie des Krieges halber bisher ohne weitere, experimentelle Klärung blieb. — Es würde so anzunehmen sein, daß durch das Innere der Tonteilchen, voraussichtlich auf dem Wege chemischer Umsetzung, so viel Kalziumhydroxyd aufgenommen worden ist, daß die dann für die Adsorption noch übrige Kalziumhydroxydkonzentration nicht mehr ausreichte, die Fällung zu bewerkstelligen, da sie unter den Schwellenwert zu liegen kam.

Bereits oben ist der Wahrscheinlichkeit einer Aufnahme von zuerst adsorbierten Stoffen ins Innere der Teilchen bei Behandlung der Adsorption Beachtung geschenkt worden. Auch konnte auf die Erscheinung der Rückverflüssigung bei Behandlung von Ton mit Alkalihydroxydlösungen[3]) hingewiesen werden, die derartige Anschauungen nahe legt.

Daß wir auch bei der Wirkung von Ätzkalk mit derartigen Vorkommnissen zu rechnen haben, welche die Rückverflüssigung gewissermaßen in etwas anderer Form widerspiegeln, zeigen nun, allerdings nur vereinzelte, Beobachtungen. W. Thaer beobachtete an einem mit 1% CaO versetzten schweren Tonboden nach ursprünglicher vollkommener Krümelung und leichter Bearbeitung später wieder stärkeres Adhärieren,[4]) entsprechend dem bei Ton mit Alkalihydroxyd beobachteten Ansteifen und der folgenden Rückverflüssigung.

Würde es sich nur um eine reine Adsorption des Kalziumhydroxyds in großen Mengen an der Oberfläche der Tonteilchen handeln, was bei der starken Adsorptionsfähigkeit des Hydroxylions an sich ja durchaus mög-

[1]) G. Given, a. a. O. 7, 13/14. — [2]) Oben 314.
[3]) M. Böttcher, a. a. O., ebenso I. K. Neubert, a. a. O.
[4]) W. Thaer, Preisschrift Göttingen (1910) 19.

lich wäre, so könnte, von den bereits angeführten, dagegen sprechenden Gründen[1]) abgesehen, auch die folgende Erscheinung nicht wohl erwartet werden: Ein mit Kalziumhydroxyd gesättigter Ton blieb, in destilliertem Wasser aufgeschlämmt, tagelang in der Schwebe. Sobald aber Kohlensäure in die Flüssigkeit eingeleitet wurde, flockte er unmittelbar danach aus.[2]) — Wäre die ganze Menge des vom Ton festgehaltenen Kalziumhydroxyds in der Oberfläche adsorbiert, so dürfte Kohlensäure nur eine allmähliche Ausflockung des Tons herbeiführen, da trotz ihrer Einwirkung zunächst noch von der großen Menge (1,65% des Tons an $Ca(OH)_2$) ausreichend Kalziumhydroxyd übrigbleiben mußte, um den Ton in Aufschwemmung zu erhalten. Ist dagegen nur ein Teil des Kalziumhydroxyds in der Oberfläche der Tonteilchen adsorbiert, die übrige Menge im Innern derselben gebunden, von wo sie zwar rasch nach außen hin diffundieren kann, indes doch nicht sofort mit der zugefügten Kohlensäure in Berührung kommt, so ist es viel leichter möglich, sich zu erklären, daß auf Kohlensäureeinleitung unmittelbar Ausflockung folgt.

Die Aufnahme von Kalziumhydroxyd ins Innere der Tonteilchen hat nun bereits Veränderungen der Eigenschaften des Tons im Gefolge, die uns eine bessere Überleitung zu den Erfahrungen der landwirtschaftlichen Praxis mit Ätzkalkdüngung ermöglichen; allerdings nur zum Teil. Es konnte festgestellt werden, daß kalkgesättigter Ton getrocknet eine viel größere Sprödigkeit aufweist,[3]) als Ton ohne Kalk. Wenn diese Erscheinung nun auch bei fest zusammengepreßtem, etwa in eine Form gedrücktem reinem Ton für die Haltbarkeit nicht viel bedeuten kann, da hier die Anzahl der Berührungspunkte und Flächen im Innern der zusammengepreßten Masse eine zu große ist — anders liegen die Verhältnisse schon meist bei einem tonigen, mehr aber noch bei einem lehmigen Ackerboden —, so spielt es aber eine maßgebende Rolle, sobald man dafür sorgt, daß die Verteilung des Tons eine dem Gefüge der Ackerkrume mehr ähnliche wird. Ganz besonders ist dies bei Heranziehung des Frostes der Fall, und G. Given konnte denn auch feststellen, daß die Tragfähigkeit von

durch Frost gebildeten Tonkrümeln ohne $Ca(OH)_2$ unter gleichen Bedingungen 8000 g betrug,

dagegen von entsprechenden Krümeln mit $Ca(OH)_2$ unter gleichen Bedingungen nur 200 g.

Hier liegt wahrscheinlich eine Wirkung des ins Innere der Tonteilchen aufgenommenen Ätzkalks vor, die natürlich auch bei Anwendung des-

[1]) Vgl. 289 u. f. — [2]) G. Given, a. a. O. 17.
[3]) Ebenda, 18, 21/22.

selben auf dem Acker ihre bedeutungsvollen Einflüsse betätigen wird. Auch eine gewisse Fähigkeit der einzelnen Tonkrümel, ihre Form zu erhalten, hängt gewiß mit dieser größeren Sprödigkeit bei Kalkaufnahme ins Innere der Teilchen zusammen. Nicht mit Ätzkalk gesättigter Ton wies wenigstens im Gegensatz dazu Neigung zum Zusammenfließen auf.[1])

Andere Erscheinungen und Wirkungen des Ätzkalks auf Ton werden dagegen auf das in der Oberfläche adsorbierte Kalziumhydroxyd zurückzuführen sein, soweit man bislang urteilen kann. Auch auf diesem Gebiet fehlt es uns leider noch in erheblichem Umfange an durch exakte Versuche gesicherter Erkenntnis, die indes nach Kräften durch die Arbeiten des agrikulturchemischen Instituts Göttingen gefördert werden soll. Immerhin gibt die starke Wirkung des nur in geringem Umfange und wohl nur an der Oberfläche von Ton aufgenommenen Gipses auf die Verflüssigung von Ton durch Soda, wie sie von F. Foerster beobachtet wurde, wohl noch einen Beweis dafür, daß die Tonverflüssigung und entsprechende Aufteilung durch Hydroxylion ein Oberflächenvorgang ist.[2])

Die stärkere Zusammenziehung, das auffallendere Schwinden mit Kalziumhydroxyd behandelten Tons[3]) ist derart als Folge der aufteilenden Wirkung adsorbierten Hydroxylions zu betrachten, indem das Innere der Tonteilchen derart viel Kalziumhydroxyd aufnimmt, daß die dann noch an der Oberfläche adsorbierte Menge den Schwellenwert noch nicht erreicht, so daß der Ton im Zustand der Aufschwemmung, oder einer gewissen Verflüssigung beharrt, dem dann auch stärkeres Schwinden, wie ebenso auch stärkeres Quellen entspricht.[4]) Versuche von E. Wollny, die ganz andere Ergebnisse zeitigten, gehen nicht vom nassen Tonbrei aus, sondern von locker aufeinanderliegendem, trockenem Kaolin, der mit 1% $Ca(OH)_2$ trocken verrieben wurde, um dann benetzt zu werden.[5]) Da diese Versuche jedesmal eine ganz außerordentlich lange Zeit bis zu ihrer Beendigung beanspruchten — Versuche mit 5 Torfproben erforderten für sich allein zwei Jahre[6]) —, so wird man schwerlich irren, wenn man behauptet, daß E. Wollny seine Versuche zwar mit Kalziumhydroxyd ansetzte, aber mit Kalziumkarbonat durchführte. Auch mag der von ihm verwendete Apparat nicht als besonders geeignet zu betrachten sein.[7])

[1]) G. Given, a. a. O.
[2]) F. Foerster, Chemisch. Industr. **28**, 733 (1905).
[3]) G. Given, a. a. O. 23.
[4]) Vgl. oben 193, 214 und auch weiter unten zu gebende Mitteilungen.
[5]) E. Wollny, Forsch. Geb. Agrikulturphysik **20**, 21 (1897/8).
[6]) Derselbe, a. a. O. 16.
[7]) Derselbe, a. a. O. 14.

In gleicher Weise sehe ich einige ungünstige Wirkungen, die bei sehr starken Kalkungen beobachtet worden sind, als Folge der in der Oberfläche des Tons adsorbierten Hydroxylionen an. Sie seien zunächst angeführt, um dann besprochen zu werden. J. N. von Schwerz teilt mit:[1] „Auf einem, von allem vegetabilischen Rückstande (Humus) entblößten Boden (der also wenig CO_2 bilden kann und den Ätzkalk langsam umwandelt — Verf.) bringt zumal der ätzende Kalk eine entgegengesetzte, höchst nachteilige Wirkung hervor. ‚Ich machte', sagt Arthur Young, ‚hierüber eine sehr auffallende Erfahrung. Ein unfruchtbarer Tonboden, der etwas zu stark gekalkt worden war, befand sich mehrere Jahre hintereinander außerstande, eine Getreideernte hervorzubringen. Der Boden wurde nach dem Kalken zäher, als mir je einer vorgekommen ist. Selbst 15 Fuder Mist, die ich später auf den Acker fahren ließ, vermochten nicht, eine merkliche Wirkung darauf hervorzubringen."

In ganz ähnlicher Weise bringt G. Given[2]) Angaben über den Einfluß zu starker Kalkung auf schweren Tonboden. Dieser wurde, anstatt besser zu werden, zäher, und zuletzt war es gänzlich unmöglich, ihn zu bebauen. Nach Aussage des Besitzers konnte man die Erdschollen nicht mit dem Schmiedehammer zerschlagen. Es dauerte 15 Jahre, bis die betreffenden Stücke Landes wieder eine Durchschnittsernte brachten. Andeutungen in dem erwähnten Sinne möchte man vielleicht auch noch bei A. v. Rosenberg-Lipinsky[3]) finden, wo er davon spricht, daß das Kalken nasser, schwerer Ländereien in der Regel keinen Segen bringt. Und leider noch undeutlicher schildert A. Orth[4]) Beispiele von zu starken Kalkungen.

Grundlegend für solche Fälle wird einmal schwerer, humusarmer, der Luft wenig zugänglicher Tonboden sein. Man hat sich hier die Wirkung im Anschluß an das bereits Gesagte so vorzustellen, daß die starke Kalkung, die natürlich nicht gleich sofort ihrer ganzen Menge nach gelöst und zur Aufnahme durch den Ton verfügbar ist, die Kohlensäure der Außenluft überall an der Oberfläche des Landes bindet, und so ihren Einfluß auf das Innere des Bodens beseitigt. Im Boden selbst wird der Humusarmut halber gleichfalls schon nicht viel Kohlensäure gebildet werden können. Es besteht somit ausnahmsweise keine Aussicht auf schnelle Umwandlung des Ätzkalks in kohlensauren Kalk. Der Ton wird nun das in der Bodenflüssigkeit sich lösende Kalziumhydroxyd adsor-

[1]) J. N. von Schwerz, Ackerbau 1, 236 (1823).
[2]) G. Given, a. a. O. 12/13.
[3]) A. v. Rosenberg-Lipinsky, prakt. Ackerbau 2, 428 unten (1890).
[4]) A. Orth, Kalk- u. Mergeldüng. (Berlin 1896) 197.

bieren, und zum Teil in das Innere seiner Teilchen aufnehmen. In Anbetracht aber der großen Menge Tons, und der vergleichsweise nur geringen Menge Kalziumhydroxyds, die sich im Bodenwasser zu lösen vermag, wird der Schwellenwert nicht erreicht, da ja auch noch ein nicht geringer Anteil des adsorbierten Kalziumhydroxyds ins Innere der Tonteilchen abwandert. So vermag das adsorbierte Hydroxylion seine aufschwemmende Wirkung voll auszuüben, und der Ton erscheint demnach zäh, wird stark quellen und stark schwinden. Eben dadurch bietet er dem Eindringen der Luft besonderen Widerstand, und hindert so nicht nur den Einfluß der Luftkohlensäure auf den in ihm enthaltenen Ätzkalk, sondern auch die Sauerstoffzufuhr, und damit die Kohlensäurebildung im Acker selbst, soweit nicht etwa die starke Kalkung schon die Bodenbakterien erheblich in ihrer Tätigkeit beeinträchtigt hat. Unter diesen Umständen kann es nicht überraschen, wenn eine so starke Kalkung jahrelangen, ungünstigen Einfluß ausübt. Es muß ja auch jederzeit wieder neu in der Bodenlösung erscheinendes Kalziumhydroxyd — so lange eben der in den Boden gebrachte Vorrat noch etwas hergibt — wieder erneut die Erscheinungen der Aufschwemmung, des Solzustandes für den Ton auftreten lassen, und ihn so zähe und zusammenhaltend machen.

Es wird nun aber wichtig sein, zu erfahren weshalb für gewöhnlich derartige Folgen einer Düngung mit Ätzkalk nicht auftreten, vielmehr der Erfolg ein durchaus günstiger ist.

Maßgebend hierfür kann nur die Wirkung der Kohlensäure erscheinen.

Daß zu Ton, der mit Kalziumhydroxyd gesättigt ist, hinzukommende Kohlensäure schnelle Ausflockung bedingt, wurde bereits auf Grund experimentellen Nachweises angeführt. Es kann dies auch nicht überraschen, da der Schwellenwert von Kalziumbikarbonat wesentlich niedriger liegt, als der von Kalziumhydroxyd, wie auch die weiter oben wiedergegebene Zusammenstellung Givens beweist. Während demnach selbst erhebliche Mengen von Kalziumhydroxyd den Ton nicht in den ausgeflockten Zustand zu überführen vermögen[1]) — für den in der Praxis verwirklichten Fall nämlich, daß große Massen von Ton in Betracht kommen —, liegt die Sache beim Kalziumbikarbonat wesentlich anders. Es vermag viel leichter auf den Ausflockungszustand des Tons hinzuarbeiten, ohne dabei, wie wir noch sehen werden, die Aufnahme von Kalk ins Innere des Tons und deren vorteilhafte Folgen ausschließen zu müssen.

Bevor wir indes mit diesen theoretischen Ausführungen die Verhält-

[1]) Weil die Konzentration des Schwellenwerts nicht erreicht wird.

nisse bei der praktischen Anwendung des Kalks noch weiter vergleichend zusammenstellen können, werden wir zunächst noch die für die Konzentration der Ionen — und damit der für Adsorption wie Ausflockung wirksamen Bestandteile der gelösten Kalksalze — entscheidende Löslichkeit des Kalziumhydroxyds und der sonstigen Kalksalze kennen lernen müssen. Die Löslichkeit ist deswegen wesentlich allein maßgebend, weil von fast allen, in der Praxis in Betracht kommenden Kalksalzen derartige Gaben auf den Hektar verabfolgt werden, daß sie für nicht ganz geringe Zeit geeignet erscheinen, den Acker voll zu versorgen, so daß die erreichbare Löslichkeit nicht etwa aus Mangel an Kalksalz unausgenutzt bleiben muß. Natürlich ist es, wie der größeren Klarheit halber hier noch deutlich gesagt sein mag, für eine volle Wirkung jeder etwa aufgebrachten Kalkdüngung erforderlich, daß sie für längere Zeit den Anforderungen der lösenden Wirkungen der Bodenwässer und etwa hinzutretender Kräfte, zum Beispiel der Bodenkohlensäure, völlig Genüge zu leisten vermag.

Die Löslichkeit des Ätzkalks für Wasser ist nun keine ganz geringe; sie beträgt 1,62 g im Liter.[1]) Da dies die Löslichkeit des kohlensauren Kalks in reinem Wasser weitaus übertrifft, sie beläuft sich nur auf 0,0131 g im Liter,[2]) so möchte man meinen, bereits hierin die gesuchte Erklärung für die so weitaus stärkere Wirkung des Ätzkalks auf den Boden und seine Kolloide zu finden. Daß dem nicht so ist, beweist aber sofort ein Blick auf die Löslichkeit des Gipses, die mit 2,02 g im Liter[3]) noch größer ist, als die des Ätzkalks, obwohl doch der Gips nahezu keine Wirkung auf die Bodenkolloide äußert, wenn wir der allgemeinen Ansicht folgen. Die Wirkung des fällenden Ions allein kann somit hier auch nicht maßgebend erscheinen, sonst müßte der leichter lösliche Gips stärker wirken, als der etwas weniger leicht lösliche Ätzkalk, da er doch, gleich starke, elektrolytische Dissoziation vorausgesetzt, größere Mengen von Kalziumion in die Bodenlösung bringen muß. Wir werden also voraussichtlich auch die Gegenwirkung des mit dem Kalziumion zusammen auftretenden Ions beachten müssen, um zu einer brauchbaren Erklärung zu gelangen, aber außerdem wohl auch noch andere Umstände zu berücksichtigen haben.

Zunächst ist die Erhöhung der Löslichkeit des kohlensauren Kalks durch die Bodenkohlensäure noch wichtig. Ältere Angaben bringen für die durch kohlensäurehaltiges Wasser in Lösung zu bringende

[1]) Bei 20° nach A. Herzfeld, vgl. V. Rothmund, Löslichkeit u. Löslichk.-Beeinfl. (Leipzig 1907) 125.

[2]) Nach Th. Schlösing bei 16°; vgl. ebenfalls V. Rothmund, a. a. O.

[3]) Bei 18° nach G. Hulett und Allen sowie F. Kohlrausch und F. Rose, vgl. ebenfalls V. Rothmund, a. a. O.

Kalkmenge 0,7—0,9 g im Liter,[1]) auch mehr, ja bis 3 g,[2]) bzw. auch nur 0,7 g.[3]) Doch sind die Feststellungen wahrscheinlich nicht durchaus so durchgeführt, wie man dies heute verlangen würde. Im Mittel ergeben sie eine Löslichkeit von 1 g im Liter mit Kohlensäure gesättigten[4]) Wassers.[5]) Vermehrung des Kohlensäuredrucks und Erniedrigung der Temperatur muß die Löslichkeit erhöhen.[6]) Neuere Untersuchungen haben entsprechend für bei Atmosphärendruck mit Kohlensäure gesättigtes Wasser und 2,8° 1,45 g kohlensauren Kalk im Liter festgestellt, für 13,2° 1,30 g im Liter.[7]) Es ist somit die Löslichkeitserhöhung durch Kohlensäure für kohlensauren Kalk, die wohl durch Bildung des HCO'_3-Ions in größerem Umfange bedingt ist,[8]) eine recht erhebliche; der kohlensaure Kalk tritt derart schon als fast so löslich wie Ätzkalk auf.

Löslichkeitsverminderungen werden in wechselndem Umfange durch Vorkommen gleicher Ionen im Bodenwasser möglich sein, doch wohl eher zu ungunsten der Löslichkeit des Ätzkalks, als des kohlensauren Kalks. Denn wo Ätzkalk in den Boden gebracht wurde, wird unter normalen Verhältnissen[9]) fast stets mit Sicherheit in kürzester Frist auch das Vorkommen von kohlensaurem Kalk in der Bodenlösung zu erwarten sein und so durch das hierdurch bedingte Auftreten des Kalziumions aus dem kohlensauren Kalk die Löslichkeit des Ätzkalks vermindert werden. Wird aber kohlensaurer Kalk in den Boden gebracht, so ist deshalb noch nicht ohne weiteres ein erhebliches Auftreten anderer Karbonate in der Bodenlösung zu erwarten, wenn auch möglich. Und was die Wirkung von salpetersaurem Kalk auf die Löslichkeit des Ätzkalks und des kohlensauren Kalks anbetrifft, so wird er im Boden bei Gaben des ersten in zumeist größerer Menge entstehen. Man darf demnach wohl bei der Ansicht beharren, daß die Löslichkeitsverminderung durch gleichartige Ionen mehr der Löslichkeit des Ätzkalks, als der des kohlensauren Kalks nachteilig sein wird.

Daß die Löslichkeit des Kalks im Boden auch dadurch herabgesetzt

[1]) I. Roth, Allgem. u. chem. Geologie **1**, 48 (Berlin 1879).
[2]) O. Sackur, R. Abeggs Handb. anorgan. Chemie **2**, (2) 158 (Leipzig 1905).
[3]) S. Tanatar, Ber. Deutsch. chem. Ges. **29**, 1036 (1896).
[4]) bei Atmosphärendruck.
[5]) I. Roth, a. a. O. 49.
[6]) Wi. Ostwald, Grundlin. anorgan. Chemie, 2. Aufl. (Leipzig 1904) 533.
[7]) W. Treadwell und A. Reuter, Zeitschr. anorg. Chem. **17**, 170 (1898).
[8]) Wi. Ostwald, Grundlin. anorgan. Chemie, 2. Aufl. (Leipzig 1904) 533.
[9]) Ausnahmen vgl. 573.

werden kann, daß sich Überzüge von Humussubstanzen auf einzelnen Kalkteilchen niederschlagen und so die Einwirkung der Bodenfeuchtigkeit hemmen, sei nur erwähnt.[1]) Ähnliche Beobachtungen kennt man aus der landwirtschaftlichen Industrie, bei der Verarbeitung von Melasse auf Zucker mit Hilfe von Kalkzusätzen, schon länger.

Da nach den soeben gegebenen Ausführungen der Ätzkalk in seiner Löslichkeit den kohlensauren Kalk bei ausreichenden Kohlensäuremengen im Boden und nicht zu hoher Temperatur nicht einmal mehr um ein Viertel übertrifft, und doch die Wirksamkeit des Ätzkalks in der Praxis eine so viel stärkere ist, als die des kohlensauren Kalks, so wäre der Versuch, etwa auf Grund der verschiedenen Löslichkeiten von Kalziumhydroxyd und Kalziumkarbonat im Laboratoriumsversuch ihre verschiedene Wirkung auf den Boden zu erklären, schon von Anbeginn zum Mißerfolg verurteilt.

Dagegen erscheint ein Umstand sehr der Beachtung wert zu sein:

Bei mäßigen Ätzkalkgaben wandelt der Ätzkalk sich in recht kurzer Zeit im Boden in kohlensauren Kalk um.[2])

Freilich vertritt schon E. Heiden die Ansicht, daß der in den Boden gebrachte Ätzkalk nicht, wie es allgemeine Meinung sei, sehr bald in kohlensauren Kalk übergehe.[3]) Seine Beweisführung dürfte aber für jetzige Anschauungen nicht mehr zwingend sein. So wissen wir heute z. B., daß nicht nur Ätzkalk, sondern auch gefällter, amorpher kohlensaurer Kalk — und um solchen wird es sich in mit gebranntem Kalk bzw. Ätzkalk gedüngtem Boden häufig handeln, da die Bodenkohlensäure den Kalk ausgefällt hat — basisch reagiert,[4]) und zwar wegen der hydrolytischen Wirkung des Wassers. Daher ist Feststellung schwächerer basischer Reaktion in einem kalkgedüngten Boden kein Beweis für ein Vorhandensein von Ätzkalk. Weiter hat E. Heiden recht erheblich starke Ätzkalkdüngungen angewendet[5]), die nicht besonders zu Schlüssen auf die Umwandlung des Ätzkalks in Karbonat bei in der Praxis

[1]) Derartige Beobachtungen liegen wohl schon Angaben von G. S. Fraps über „schützende Umhüllungen, welche chemisch wohl ausnutzbare Verbindungen der Einwirkung der Pflanzenwurzeln wie auch der Bodenfeuchtigkeit" entziehen, zugrunde. Amer. Chem. Journ. **32**, 1 (1904).

[2]) So auch J. G. Maschhaupt, Landw. Versuchsstat. **83**, 468 (1914).

[3]) E. Heiden, Düngerlehre **2**, 811 (Hannover 1887).

[4]) Vgl. dazu auch A. Reichard, Koll.-Zeitschr. **18**, 195 (1916).

[5]) In zehn Jahren wurde sechsmal mit je 3250 kg auf den Hektar, bzw. sechsmal 12 Pfund Ätzkalk auf die sächsische Quadratrute gedüngt. Vgl. Denkschr. 25jähr. Besteh. Versuchsstat. Pommritz, **2**, 6 u. 45 (1883).

für den Ackerboden üblichen Gaben[1]) geeignet sind. Der gleiche Einwand ist gegen E. Blancks Untersuchungen, welche ihn zu einer ähnlichen Ansicht führten, zu erheben. Er verwendet auf 1 kg feuchten Erdboden 20 g Ätzkalk, was auf den Hektar[2]) bei ungefähr gleicher Gabe vier Bahnwagenladungen zu je 10000 kg ausmacht! Aber auch andere Gründe lassen E. Blancks Folgerung, daß Ätzkalk im Boden nur langsam in das Karbonat übergehe,[3]) als sehr zweifelhaft erscheinen. Und man wird nicht mit Unrecht, so lange nicht weitere, beweiskräftigere Untersuchungen mitgeteilt sind, bei der normalen, mäßigen Anwendung des Ätzkalks in der Praxis mit einer in der Regel durchaus schnell erfolgenden Umwandlung in das Karbonat zu rechnen haben.

Nur wenn die Ätzkalkgaben besonders große sind, und wenn im Zusammenhang damit die Kohlensäureentwicklung im Boden eine geringe ist — als Ursache kann Hemmung der biologischen Umsetzungen durch die zu großen Kalkmengen, durch Luftmangel infolge starker Durchfeuchtung des Bodens oder durch feste Lagerung schweren und daher wenig Luftzufuhr bietenden Bodens und Ähnliches in Betracht

[1]) Vgl. z. B. A. Orth, Kalk- und Mergeldüngung (Berlin 1896) 126, 180 ff.

[2]) Für die Berechnung ist ein Volumgewicht des Bodens von durchschnittlich 1,7 angenommen (vgl. A. Mitscherlich, Bodenkunde, 2. Aufl. [Berlin 1913] 18) und eine Krumentiefe von nur 20 cm. Es ergibt sich dann für den Hektar 3400 t trockener oder bei rund 11 % Feuchtigkeit, wie bei E. Blanck, 3774 t feuchter Boden, der bei E. Blancks Versuchen 2 % Ätzkalk enthielt. Vgl. Landw. Jahrb. **38**, 717 (1909). Es käme also bei E. Blancks Versuchen zu einer Gabe von 37740 kg Ätzkalk auf den Hektar, während A. Orth, a. a. O. 126, als Ausnahmsgabe „bei ganz störrigem Tonboden", der „stark versäuert" war, a. a. O. 197, (E. Blanck arbeitete mit lehmigem Sandboden) 8—16000 kg angibt, als mittlere Gabe für Sandboden aber nur 1000—1200 kg, also ein Dreißigstel der von E. Blanck benutzten Menge! Weiter muß in dem von E. Blanck verwendeten Boden die Kohlensäurebildung, vielleicht des für den Boden recht starken Wassergehaltes halber (a. a. O. 717 u. 718), ganz besonders schwach gewesen sein. Man vergleiche auch die Ausführungen oben 573/4. Auch der sehr hohe Kalkgehalt wird direkt oder indirekt hierzu beigetragen haben, wie auch in geringem Maße vielleicht die Einbringung von Kupfermetall in die Versuchsgefäße (a. a. O. 717). Man denke an A. Nägelis oligodynamische Wirkungen (Neue Denkschr. allg. schweiz. Ges. ges. Naturw. [Zürich 1893/98] 33) und an Beobachtungen von L. Devaux, nach denen die ungünstige Wirkung von Schwermetallsalzen auf die Pflanzenzelle sogar noch bei nur 1 mg für das Hektoliter merkbar ist, Compt. rend **132**, 717 (1901). — Jedenfalls muß es als sehr auffällig erscheinen, daß die Kohlensäurebildung bei E. Blancks Versuchen nach Bearbeitung des Bodens so schnell anstieg (a. a. O. 721). Mir scheint dies ein Zeichen dafür zu sein, daß vorher die Nachahmung der Verhältnisse in der Natur auch bezüglich der Lagerung des Bodens nur wenig gelungen war.

[3]) E. Blanck, a. a. O. 757—758, ohne Einschränkung auf die Verhältnisse seines Versuches allgemein für leichten, lehmigen Sandboden angegeben.

kommen — nur in diesen Ausnahmefällen wird sich Ätzkalk einige Zeitlang als solcher im Boden halten. Dann wird aber auch eine erhebliche Gegenwirkung der Hydroxylionen gegen die ausflockende Tätigkeit des Kalziumions in Betracht gezogen werden müssen. Da nun von den negativ geladenen, einwertigen Ionen sich in ihrer Wirkung auf Kolloide sowohl bei Adsorption wie im Zusammenhang damit bei Beeinflussung der Elektrizitätsladung ebenso die Hydroxylionen auszeichnen, wie von den positiv geladenen die Wasserstoffionen,[1]) so muß die Gegenwirkung auch beim Ätzkalk keine geringe sein. Für die Bodenkolloide insbesondere ist der aufschwemmende, lösende, der ausflockenden Wirkung entgegen arbeitende Einfluß der Hydroxylionen ja bereits mehrfach erwähnt. Er muß sich auch betätigen, wenn Ätzkalk längere Zeit im Boden auftritt,[2]) wie oben bereits dargelegt wurde. Dabei ist noch nachzutragen, daß es durch wechselseitige Umsetzungen dann zum Auftreten geringer Mengen von Ätznatron und Ätzkali im Boden kommen muß, für welche die verhältnismäßige Schwerlöslichkeit des Ätzkalks nicht besteht. Es ist so durchaus als möglich, ja, als unzweifelhaft anzusehen, daß überstarke Ätzkalkgaben gerade auf sehr schweren, wasserhaltenden Ländereien das Bodengefüge nicht günstig beeinflussen,[3]) ihm sogar auf kürzere oder längere Zeit schaden.

Mit der Zeit muß natürlich auch hier der Ätzkalk in das Karbonat übergehen, müssen die Hydroxylionen und damit die ungünstigen Einflüsse auf die Bodenstruktur wesentlich verschwinden, die Wirkungen des $Ca^{\cdot\cdot}$-Ions aber deutlich hervortreten. Inwieweit eine mörtelartige Verkittung bei derartigen hohen Kalkgaben noch eine Rolle für sich zu spielen vermag, sei dahingestellt. Ich möchte ihr, trotz gelegentlicher, dies-

[1]) Es hängt dies wohl zum Teil mit der großen Wanderungsgeschwindigkeit der $H^{\cdot}$- und OH'-Ionen zusammen. Vgl. oben 35, Anm. 1.

[2]) Auch A. D. Hall vertritt die Anschauung, daß bei Anwendung von Ätzkalk das stark flockend wirkende, zweiwertige $Ca^{\cdot\cdot}$-Ion durch die gleichzeitig anwesenden Hydroxylionen in seiner Wirkung behindert wird, aber später als doppeltkohlensaurer Kalk im Boden gelöst eine große Flockungsfähigkeit ausübt. Vgl. The Soil (London 1908) 39 ff.

[3]) Daß bei häufigeren, kleineren Ätzkalkdüngungen unter Umständen die sog. „Gewöhnungserscheinungen" ein Zurücktreten der Wirkung des Hydroxylions bedingen könnten, ist zwar nicht ganz unmöglich, aber nach Lage der Verhältnisse in der landwirtschaftlichen Praxis kaum zu erwarten. Wahrscheinlich ist wohl ein namhafter Einfluß in dieser Richtung um so weniger, als kleine Ätzkalkgaben schnell in das Karbonat übergehen werden. Man vgl. dagegen auch H. Freundlich, Zeitschr. physik. Chem. **44**, 143, 151, 153 (1903). Die sonstige Bedeutung dieser Erscheinung für die Bodenkolloide läßt sich noch nicht beurteilen.

bezüglicher Beobachtungen bei Versuchen,[1]) keine erhebliche Bedeutung zuschreiben. Sind doch sogar größere Zementgaben, die versehentlich oder absichtlich verabfolgt wurden, ohne derartige Folgen für den Acker geblieben.[2])

Aber, wird man wiederholt fragen, wenn im Ätzkalk die Hydroxylionen schädlich wirken können, und wenn erst sein Übergehen in das Karbonat diesen gelegentlich ungünstigen Einfluß[3]) beseitigt, woher dann seine um so viel bessere Wirkung gegenüber dem gebräuchlichen kohlensauren Kalk?

Hierauf ist zu erwidern, daß die oben geschilderte ungünstige Wirkung des Ätzkalks in physikalischer Hinsicht wohl an mehr oder weniger kolloidreiche Böden gebunden ist, wie etwa an recht strengen Lehm und Ton. Auf leichteren, weniger absorptionskräftigen Böden wird eine irgendwie stärkere Ätzkalkgabe mit ihren mannigfaltigen Folgen kaum jemals in Betracht kommen. Auch kann im Boden auftretendes Hydroxylion ja nur auf schwereren Böden seine ungünstige Wirkung voll entfalten. Alles auch noch ein Grund dafür, daß man nur selten von ungünstigen Wirkungen des Ätzkalks auf die Bodenstruktur hört.[4]) Vielleicht ist hier noch darauf hinzuweisen, daß bereits A. F. Hollemann auf die große Bedeutung der Bodenkohlensäure für die Wirkung einer Kalkgabe auf den Boden hinwies, ebenso auf den in der gedachten Richtung sich

[1]) E. Wollny, Forsch. Geb. Agrikulturphysik **20**, 168 u. 484 (1897/98).

[2]) Z. B. O. Lemmermann, Landw. Versuchsstat. **85**, 237 (1914).

[3]) Ob und in welchem Umfange die ungünstige Wirkung stärkerer Ätzkalkgaben bei Humus- und Moorböden auf dem soeben besprochenen Wege einen Teil ihrer Erklärung finden kann, würde wohl auch einmal nachzuprüfen sein. Vgl. auch dazu oben 337 und 350 über Sodabildung.

[4]) E. Blancks Versuche über den Einfluß des Kalkes auf die Wasserbewegung im Boden zeigen leider zum großen Teil so mangelhafte Übereinstimmung der oft in zu geringer Anzahl vorhandenen Paralleluntersuchungen, daß deren Verarbeitung durch einfache Benutzung des Mittels nicht angängig erscheint. Vgl. Landw. Jahrb. **38**, z. B. 723—732 (1909). Auch ist in der Regel, so weit man sehen kann, gebrannter Kalk mit dem Boden gemischt und mit der Wirkung des Karbonats verglichen, so daß bei den hohen Kalkgaben auch die Wirkung der Volumvermehrung des CaO beim Löschen verdunkelnd in die Versuche eingegriffen hat. Sie stellt bekanntlich eine Verdoppelung bis Verdreifachung des Volums dar; P. Rohland, R. Abeggs Handb. anorgan. Chem. **2** (2), 181 (Leipzig 1905). Immerhin zeigt sich selbst bei E. Blancks zu derartigen Ableitungen wenig geeigneten Untersuchungen gelegentlich eine bessere Wirkung präzipitierten kohlensauren Kalks auf den Boden, als sie der Anwendung von gebranntem Kalk folgt. Ein weiteres Beispiel für die oben hervorgehobene, hemmende Wirkung der Hydroxylionen auf den nützlichen Einfluß des Ca⋅⋅-Ions! Vgl. E. Blanck, a. a. O. 734.

äußernden Einfluß einer Stallmist-Düngung bei steifem Tonboden, wodurch ja auch Kohlensäure zur Verfügung gestellt wird.[1])

Dann aber, und das ist um so wichtiger, als es bislang meist ohne Beachtung blieb: das aus Ätzkalk durch die Bodenkohlensäure gebildete Karbonat ist etwas erheblich anderes als in den Boden eingebrachter Mergel oder gemahlener Kalkstein.[2])

Zunächst ist im Boden gefällter kohlensaurer Kalk selbstverständlich feiner zerteilt, als gemahlener Kalkstein, dessen Mahlung noch dazu bislang meistens keiner Kontrolle unterliegt.[3]) Auch selbstgewonnener Mergel aus Gruben dürfte fast immer ziemlich grobe Teilchen enthalten, wenn er auch oft nicht die kristallinische Struktur der Kalksteinteilchen besitzen mag. Doch darüber später. Es ist somit der im Boden aus gelöstem Ätzkalk durch Fällung mit Kohlensäure entstehende kohlensaure Kalk auch merkbar stärker löslich. Denn längst ist bekannt, daß die Teilchenfeinheit bei etwas schwerer löslichen Stoffen auf die Löslichkeit einwirkt, und für Ätzkalk,[4]) wie besonders für Gips ist dies ermittelt. Für das letztgenannte Kalksalz fand G. Hulett[5]) bei 25° und Teilchen, die größer als 1,9 μ waren, eine Löslichkeit von 0,01533 Mol im Liter, dagegen bei Teilchen, die nur größer als 0,19 μ waren, eine Löslichkeit von 0,01869 Mol im Liter.

Weitaus wichtiger dürfte aber der Umstand sein, daß sich beim Fällen von Ätzkalklösungen mit Kohlensäure das Karbonat zunächst in

[1]) A. F. Hollemann, Landw. Versuchsstat. **41**, 40/41 (1892). Vgl. auch A. Mayer, Agrikulturchemie, 3. Aufl. **2**, 145 (1886).

[2]) U. a. weist E. Blanck bereits auf derartige Unterschiede hin, a. a. O. 757. Nicht ausreichend scheinen sie mir beachtet bei O. Engels, der offenbar nicht Ätzkalk mit kohlensaurem Kalk bei seinen Versuchen verglichen hat, sondern im Boden gefällten, kohlensauren Kalk mit anderweitigem Kalkkarbonat, jedenfalls kristallinischer Natur Vgl. Landw. Versuchsstat. **83**, 424 (1914), neue, dankenswerte Versuche hierzu bei G. Hager und J. Kern, Journ. Landwirtsch. **64**, 340 (1916), wo auch Angaben über Teilchengröße verschiedener Sorten von $CaCO_3$; a. a. O. 321/2.

[3]) Erst auf B. Tackes Veranlassung wird jetzt der Feinheit der Mahlung größere Beachtung geschenkt. Allerdings wußte die physikalische Chemie bereits seit längerer Zeit, daß unter anderem Kalziumkarbonat, wie auch Gips durch feine Verteilung, also gründlichste Zerkleinerung, eine zum Teil sehr erhebliche Erhöhung ihrer Löslichkeit erfahren. V. Rothmund, Löslichkeit und Löslichkeitsbeeinflussung (Leipzig 1907) 110. Über den Einfluß der Korngröße von kohlensaurem Kalk vgl. auch noch M. Mulak, Inauguraldissertation Freiburg i. B. (1913) 9.

[4]) Vgl. F. Lamy, Compt. rend. **86**, 333 (1878), und O. Sackur, R. Abeggs Handb. anorgan. Chemie **2** (2), 114 (Leipzig 1905).

[5]) G. Hulett, Zeitschr. physik. Chem. **37**, 383 (1901).

amorpher Form abscheidet.[1]) Amorpher kohlensaurer Kalk zeigt nur ein spezifisches Gewicht von 2,25 bis 2,45, und geht ohne Anwesenheit schützend wirkender Kolloide schnell, sonst aber nur recht allmählich in die kristallisierte Form über.[2]) Weiter ist gewiß, daß amorphes Kalziumkarbonat erheblich leichter löslich ist, als eine der kristallisierten Formen des kohlensauren Kalks, von denen übrigens z. B. der Arragonit auch wieder leichter löslich und reaktionsfähig ist, als der Kalkspat;[3]) Vaterit ist noch leichter löslich, aber im Boden kaum länger als einige Tage beständig.[4]) Wi. Ostwald sagt z. B.[5]) vom amorphen Kalziumkarbonat: „Diese Form ist die unbeständigste und daher auch die löslichste; sie ist so löslich, daß sie basisch auf Lackmus reagiert.“ An anderer Stelle nennt er das amorphe kohlensaure Kalksalz „löslich“, das kristallinische „schwer löslich“[6]).

J. Peine stellte fest,[7]) daß die Gegenwart verschiedener Salze, die wir auch in der Bodenlösung antreffen müssen, wie z. B. Magnesiumsalze, Ammoniumsalze, die Entstehung weniger stabiler Modifikationen des Kalziumkarbonats fördert. Ähnliches hatte schon G. Linck für die Chloride und Sulfate des Magnesiums, Kaliums, Natriums und Ammoniums ermittelt, wie auch F. Vetter.[8]) Somit ist auch im Ackerboden die Entstehung weniger stabiler und daher leichter löslicher Modifikationen des Kalziumkarbonats zu erwarten, wenn das gallertartige Kalziumkarbonat in eine kristallisierte Modifikation übergeht. Erst mit der Zeit wird der schwerer lösliche Kalzit entstehen.

A. Thiel findet nicht nur bei frisch ausfallendem Kalziumkarbonat viel größere Löslichkeit als bei entsprechendem Bariumkarbonat, son-

[1]) Vgl. O. Sackur, a. a. O. 155. Besonders O. Bütschli, Abhandl. Gesellsch. Wissensch. Göttingen, Mathem. phys. Klasse, N. F. 6, III, 7 (1908). G. Linck, Naturw. Wochenschr., N. F. (1908) 8.

[2]) O. Bütschli, a. a. O. 12/13. G. Linck, a. a. O. Über Schutzkolloidwirkung in dieser Richtung vgl. u. a. noch A. Reichard, Koll. Zeitschr. **18**, 198 (1916).

[3]) M. Mulak, Inauguraldissertation Freiburg i. B. (1913) 35.

[4]) W. Meigen, Verh. Ges. Deutsch. Naturforsch. u. Ärzte **2**, 120 (Königsberg 1911).

[5]) Wi. Ostwald, Grundlin. anorgan. Chemie, 2. Aufl. (Leipzig 1904) 530.

[6]) Auch A. Reichard weist auf die starke Löslichkeit frischgefällten kohlensauren Kalks hin. Koll.-Zeitschr. **18**, 200 (1916). Ant. Ad. Schmied erwähnt — Bodenlehre (Prag 1886) 160 — nach Fresenius, daß frischgefälltes $CaCO_3$ sich in Wasser wie 1 : 10600 löst, kristallisiertes $CaCO_3$ dagegen wie 1 : 250000.

[7]) J. Peine, Inauguraldissertation Jena (1913) 36/37.

[8]) G. Linck, in Dölters Handbch. Mineralchem. **1**, 120 (1911); F. Vetter, Zeitschr. Krystallogr. u. Miner. **48**, 105/6 (1911).

dern auch eine wesentlich längere Dauer dieser Löslichkeit nach erfolgter Fällung.[1]) Weiter zeigt auch bereits isländischer Doppelspat, also eine äußerst reine Form des Kalkspats, sobald man ihn einige Zeit in der Achatreibschale reibt, eine recht starke Rötung von Phenolphthalein, die mit der Zeit übrigens, durch Teilchenvergröberung oder andere Umstände wieder zurückgeht.[2]) Auch nicht mehr in Form des amorphen Kalziumkarbonats, sondern als Kalkspat im Boden vorhandener kohlensaurer Kalk wird somit bei ausreichend feiner Verteilung merkbar basisch reagieren, was mit Beobachtungen von B. Tacke über die Wirkung feinstgemahlenen Kalkmergels auf Marschböden auch völlig übereinstimmt.[3]) Dieser erwies sich auf diesen Ländereien schwerster Art dem gebrannten Kalk nicht nur als gleichwertig, sondern sogar überlegen, was durchaus zu den bisherigen Überlegungen und Feststellungen paßt. — Auch die Behauptung von R. C. Wells,[4]) daß Kalkspat in freier Luft bei niederer Temperatur erheblich leichter löslich sei, als bei höherer, wird, wenn sie sich bestätigt, für unsere Überlegungen Bedeutung gewinnen können.

Der erste Grund für die so weitaus stärkere Wirkung des Ätzkalks auf die Bodenkolloide und damit auf die physikalische Bodenstruktur ist demnach, daß er im Boden in leicht lösliches, zunächst amorphes, dann sehr fein verteilt kristallinisches Kalziumkarbonat übergeht, und als solches dann, in dem kohlensäurehaltigen Bodenwasser gelöst, durch sein Ca Ion wirkt, ohne durch Hydroxylionen gehemmt zu werden. Neben ihm sind nämlich dann fast ausschließlich HCO_3'-Ionen in Lösung, die zweiwertigen CO_3''-Ionen treten ganz zurück;[5]) zwei-

[1]) A. Thiel, Sitzungsber. Gesellsch. Naturw. (Marburg 1912) 129.

[2]) Von Herrn Dr. O. Nolte im Göttinger agrikulturchem. Institut beobachtet.

[3]) Nach Hinweisen von B. Tacke, Landw. Versuchsstat. **85**, 235 (1914).

[4]) R. C. Wells, Journ. Washington Acad. Science **5**, 617 (1915).

[5]) Man vergleiche hierzu die Feststellungen von A. D. Hall und C. G. T. Morison, Journ. Agr. Science **2**, 251 (1907/08). Es wird, wie auch schon oben angegeben, über die Fällungskraft einiger Kalksalze auf Kaolinaufschwemmung folgendes ermittelt: Sie zeigte sich in willkürlichen Größen für

Gips größer als 5 (neben dem $Ca^{\cdot\cdot}$-Ion ein zweiwertiges Sulfation),
Chlorkalzium größer als 10 (neben dem $Ca^{\cdot\cdot}$-Ion zwei einwertige Chlorionen),
Kalksalpeter 10 (neben dem $Ca^{\cdot\cdot}$-Ion zwei einwertige Nitrationen).

In ähnlicher Weise, wie oben ausgeführt, zeigt sich hier der Einfluß des das $Ca^{\cdot\cdot}$-Ion begleitenden Ions. Und ganz entsprechend wird angegeben, daß Kalkhydrat, von Kohlensäure abgeschlossen, eine fällende Kraft von nur 3 hatte, wenn Kalksalpeter wie oben, 10 aufwies. Doppeltkohlensaurer Kalk dagegen zeigte sich bei der Flockung als sehr tätig, etwas besser als Äquivalentlösungen von Kalksalpeter. Dies konnte dem Überschuß an Kohlensäure nicht angerechnet werden, da Messungen einer Lösung freier Kohlensäure nur den geringen Wert von 0,5 für CO_2 ergaben.

wertige, die Wirkung des $Ca^{\cdot\cdot}$-Ions gewiß nicht unerheblich hemmende, elektronegativ geladene Ionen fehlen damit so gut wie völlig, und wir erhalten daher die Tatsache, daß von den soeben zur Besprechung herangezogenen Kalksalzen — immer mit Ausnahme von Kalziumnitrat und Kalziumchlorid — voraussichtlich das leicht lösliche, amorphe Kalziumkarbonat in der kohlensäurehaltigen Bodenlösung am stärksten auf die Bodenkolloide wirken muß, wie dies auch die Zusammenstellung oben[1]) ergibt. Dies entsteht aber bei den normalen Ätzkalkdüngungen im Boden.

Der zweite Grund für die stärkere Wirkung des Ätzkalkes liegt, wie bereits erwähnt werden konnte, in der wahrscheinlich auf chemischer Grundlage erfolgenden Aufnahme von Kalk ins Innere der Tonteilchen.[2]) Hier finden wir den Grund dafür, daß auch solche Kalksalze, die in ihrer Flockungsfähigkeit dem Kalziumbikarbonat gleich stehen, oder dasselbe übertreffen, wie Kalksalpeter und Chlorkalzium, für den Ackerboden nicht die Wirkung einer Ätzkalkdüngung zu erreichen vermögen, soweit man weiß. Wie G. Given nachweisen konnte, zeigt sowohl der Ätzkalk, wie auch das Kalziumbikarbonat diese Aufnahme aus der Lösung,[3]) dagegen nicht das Kalziumsulfat, und voraussichtlich auch nicht Kalziumnitrat und Chlorkalzium. Wahrscheinlich liegt die Sache so, daß die Aufnahme und chemische Reaktion mit dem Vorhandensein des $Ca(OH)_2$ zusammenhängt, das in reichlicher Menge aufgenommen wird, da es chemisch mit dem Kolloidton zu reagieren vermag. $Ca(OH)_2$ vermag nun durch Hydrolyse auch das Kalziumbikarbonat zu liefern, und es ist wahrscheinlich, daß nur die Schwerlöslichkeit andere Salze des Kalziums mit schwachen Säuren, also etwa das Phosphat, Borat, Silikat, hindern wird, sich in entsprechender Weise zu betätigen. Auch wird vielleicht Kalziumazetat sich dem Bikarbonat in gewisser Weise ähnlich verhalten. Diesbezügliche Untersuchungen konnten bislang im Göttinger agrikulturchemischen Institut noch nicht weiter geführt werden. Doch dürfen wir wohl annehmen, daß alle Kalksalze, die hydrolytischer Spaltung halber Kalziumion und Hydroxylion zu liefern vermögen, einmal zunächst so starken Adsorptionskräften für diese Ionen gegenüber stehen werden, daß die Hydrolyse sich immer weiter ausdehnen muß, um die durch Ad-

[1]) Vgl. 568.

[2]) Daß Ätzkalk z. B. mit kristallisierter Kieselsäure ziemlich lebhaft chemisch reagiert, beweisen verschiedene Untersuchungen älterer und jüngerer Forscher, von denen A. Stöckhardt, zit. bei A. v. Rosenberg-Lipinsky, Prakt. Ackerbau 2, 450 (Breslau 1890); ferner A. S. Cushman, U. S. Dep. Agric. Off. publ. Roads, Bull. 28, und W. Michaelis, Koll.-Zeitschr. 5, 10/11 (1909) genannt seien.

[3]) G. Given, Inauguraldissertation Göttingen (1915) 13/14 u. 15.

sorption, und dann Wanderung ins Innere der Tonteilchen aus dem Gleichgewicht beseitigten Ionen wieder nachzuliefern. So kann zum mindesten beim Kalziumbikarbonat die Wirkung auf die Masse des Tonkolloids eine sehr ähnliche sein, wie beim Ätzkalk selbst. Für einen chemischen Bindungsvorgang der eben besprochenen Art kann auch noch die Tatsache angeführt werden, daß J. Dumont[1]) bei Behandlung von Ton mit Kaliumkarbonat eine „action décomposante" des Tons auf das Karbonat feststellte, wobei merkbare Mengen von Kohlensäure an den Luftraum abgegeben wurden. Daß infolge dieser Aufnahme von Kalziumhydroxyd durch den Ton nun wichtige Eigenschaften des Tons verändert werden, konnte ja bereits oben[2]) dargelegt werden. Doch muß zu diesen Überlegungen noch eine andere hinzutreten, um die Bedeutung solcher Aufnahme von Kalziumhydroxyd ins Innere der Tonteilchen voll deutlich zu machen.

Wirkt Kohlensäure auf Tonteilchen, die sich mit $Ca(OH)_2$ hatten sättigen können, oder, was das gleiche Ergebnis zeitigen muß, wurde das in gewissem Betrage hydrolytisch gespaltene Kalziumbikarbonat von Ton adsorbiert, so ergibt sich Aufnahme von $Ca(OH)_2$ ins Innere der Teilchen, während die Oberfläche derselben Kalziumbikarbonat aufweist; neben diesem Salz muß nun aber, in einem bestimmten Gleichgewichtsverhältnis auch noch $Ca(OH)_2$ an der Oberfläche der Tonteilchen adsorbiert bleiben, wenn auch voraussichtlich nur zu geringem Anteile. Tritt nun, wie das in der Bodenlösung ja eigentlich ständig der Fall sein muß, ein anderes Salz in Wechselwirkung mit den an der Teilchenoberfläche adsorbierten beiden Salzen $Ca(OH)_2$ und Kalziumbikarbonat, so wird ihr Einfluß dadurch nur zu einem nicht besonders erheblichen Teile vermindert werden können. Denn es ist jederzeit die Möglichkeit vorhanden, daß wahrscheinlich recht erhebliche Mengen von Kalksalz aus dem Inneren der Teilchen an die Oberfläche nachgeliefert werden können, um dort ihre Wirkung direkt, oder unter dem Einfluß der Bodenkohlensäure auszuüben. So wird Ton, der mit Kalziumhydroxyd oder einem hydrolytisch gespaltenen Kalksalz, wie Kalziumbikarbonat behandelt worden ist, und diese Salze adsorbieren bzw. sich mit ihnen chemisch umsetzen konnte, sich ganz anders verhalten als Ton, der nur Kalziumsulfat, Chlorkalzium oder Kalziumnitrat adsorbierte, die lediglich in die Oberfläche aufgenommen, und zwar dabei in ganz ungleich geringerem Maße aus der Lösung

[1]) J. Dumont, Compt. rend. **142**, 345 (1906) Dumont zieht übrigens selbst den Schluß, daß „die Absorptionsfähigkeit vor allem chemischer Art ist".

[2]) Oben 571 u. f. Man möge aber auch J. Dumonts Beobachtung zu 314 und 570 oben vergleichen!

entfernt werden als Kalziumhydroxyd oder Kalziumkarbonat. G. Given stellte z. B.[1]) die Entnahme zweier Kalksalze durch Ton aus der Lösung fest, indem er als Maßstab die Veränderung der elektrischen Leitfähigkeit benutzte, und fand, daß diese betrug

bei Zusatz von $\frac{\text{Mol}}{100}$ $CaSO_4$	zu 50 ccm reinem Wasser	zu 50 ccm reinem Wasser und 1 g Ton	bei Zusatz von $\frac{\text{Mol}}{50}$ $Ca(OH)_2$	zu 50 ccm reinem Wasser	zu 50 ccm reinem Wasser und 1 g Ton
0,0 ccm	$8,3.10^{-6}$	$29,6.10^{-6}$	0,0 ccm	$4,2.10^{-6}$	$21,0.10^{-6}$
1,0 ,,	$51,1.10^{-6}$	$64,1.10^{-6}$	1,0 ,,	$178,0.10^{-6}$	$27,4.10^{-6}$
2,0 ,,	$86,2.10^{-6}$	$95,1.10^{-6}$	2,0 ,,	$342,0.10^{-6}$	$42,5.10^{-6}$
4,0 ,,	$150,0.10^{-6}$	$154,1.10^{-6}$	3,0 ,,	$500,0.10^{-6}$	$51,0.10^{-6}$
6,0 ,,	$206,0.10^{-6}$	$206,0.10^{-6}$	4,0 ,,	$625,0.10^{-6}$	$68,6.10^{-6}$
8,0 ,,	$264,0.10^{-6}$	$264,0.10^{-6}$	6,0 ,,	—	$116,8.10^{-6}$
10,0 ,,	$314,0.10^{-6}$	$314,0.10^{-6}$	8,0 ,,	—	$194,0.10^{-6}$
			10,0 ,,	—	$315,0.10^{-6}$

Die Entnahme von Gips ist hiernach verschwindend, die von Ätzkalk, der sich übrigens nach anderen Versuchen die Entnahme von Kalziumbikarbonat anschließt, außerordentlich weitgehend. Eine Verdrängung der adsorbierten Salze wird demnach bei den Kalksalzen, die nicht mit dem Inneren der Tonteilchen reagieren, verhältnismäßig leicht stattfinden können, bei den ins Innere aufgenommenen Kalkverbindungen aber nur sehr langsam, und für geraume Zeit nur in bestimmten Grenzen.

Hiernach dürfte, so weit das bei unserer leider noch durchaus unzureichenden Kenntnis dieser Vorgänge sich sagen läßt,[2]) der Stand der Dinge bei der Kalkwirkung auf Ton und andere Bodenkolloide ihm ähnlicher, mineralischer Natur der folgende sein:

Kalziumhydroxyd wird stark adsorbiert und auch ins Innere der Tonteilchen aufgenommen. Es wirkt aber, soweit es adsorbiert ist, aufteilend, und daher ungünstig auf die Struktureigenschaften des Tons, der Ladung und sonstigen Eigenschaften des Hydroxylions entsprechend, weil der Schwellenwert selten erreicht werden kann.[3]) Bei Verabfolgung als Dünger geht es indes in der Regel im Boden schnell über in:

Kalziumbikarbonat; dies ist in seiner Wirkung stark von der vorhandenen — durch die Löslichkeit des aus Ätzkalk im Boden entstandenen,

[1]) G. Given, Inauguraldissertation Göttingen (1915) 14.

[2]) Vgl. auch oben 314.

[3]) Auch A. D. Hall, The Soil (London 1908) 252, meint, daß bei Anwendung von Ätzkalk im Versuch das sehr stark auf den Boden wirkende Metallion durch die Hydroxylionen behindert wird, während im Boden nachher doppeltkohlensaurer Kalk entsteht und als solcher eine starke Wirkung ausübt.

amorphen, oder kristallinisch als Kalksteinmehl oder Mergel gegebenen Kalziumkarbonats bedingten — Konzentration abhängig. Es wird voraussichtlich auch stärker adsorbiert, und wirkt dabei fällend; daneben liefert es durch Hydrolyse Kalziumhydroxyd, das auch zu einem bestimmten Umfange adsorbiert, daneben aber voraussichtlich erheblich ins Innere der Teilchen aufgenommen wird. Von hier kann es im Ackerboden in die Oberfläche der Teilchen nachgeliefert werden, wenn das Kalksalz dort durch Adsorption anderer Salze mehr oder weniger verdrängt wird; so bleibt die Kalziumbikarbonatwirkung auf den Ton auch unter ungünstigen Umständen erhalten. Die Wirkung der Kalziumphosphate dürfte bei ausreichender Löslichkeit der des Kalziumbikarbonats entsprechen.

Kalziumsulfat wird schwächer adsorbiert und fällt schwächer als Kalziumbikarbonat; Aufnahme ins Innere der Tonteilchen findet nicht statt; daher geringe Wirkung auf den Boden.

Kalziumnitrat und Chlorkalzium werden stark adsorbiert und wirken entsprechend fällend. Da sie aber ebenso wie das Kalziumsulfat nicht ins Innere der Tonteilchen aufgenommen werden, ist ihre Wirkung auf das Bodengefüge nicht nachhaltig.

Ein besonderer Umstand wird endlich noch zugunsten des Kalziumhydroxyds sprechen. Das ist seine Fähigkeit, die Hüllenbildung und gegenseitige Anheftung für die einzelnen Bodenteilchen besonders zu fördern. Einmal geschieht dies durch Reagieren mit den feinen Sanden im Boden, wobei sich kolloide Kalksilikate in um so größerem Umfange bilden, als die Sandteilchen durch ihre feine Zerteilung eine große Oberfläche darbieten.[1]) Dann aber ist bei einigermaßen reichlichem Gehalt des Bodens an Kohlensäure und nicht zu großen Gaben von Ätzkalk eine Ausfällung des in der Bodenflüssigkeit gelösten Kalziumhydroxyds und die Bildung von feinen Kalziumkarbonathüllen und -verbindungen zu erwarten, die ganz wesentlich auf das Zusammenhalten der Bodenkrümel und ihrer Bestandteile hinarbeiten müssen. Zwar werden derartige Hüllen sich auch durch Ausscheidung von Kalziumkarbonat aus Bikarbonatlösungen im Boden in nennenswertem Umfange bilden können, doch kaum so reichlich, wie nach einer vorangegangenen Ätzkalkdüngung.

Um die mannigfachen, das Bodengefüge fördernden und wohl gelegentlich[2]) auch beeinträchtigenden Wirkungen einer Ätzkalkdüngung mit zu ihm hinzutretendem Kohlensäureeinfluß im Boden ganz klar und wider-

[1]) Vgl. besonders W. Michaelis, Koll.-Zeitschr 5, 10/11 (1909).
[2]) Bei zu starken Kalkmengen.

spruchsfrei deuten zu können, wird es noch mancher Experimentaluntersuchungen bedürfen. Daß uns aber gerade die Berücksichtigung der Bodenkolloide und ihrer Eigenschaften auf diesem Wege schon erheblich gefördert hat, und voraussichtlich noch weiter fördern wird, dürfte bereits unzweifelhaft klar liegen. So erklärt sich z. B. die sogar noch nach mehreren Jahren bemerkbare auffällige Frische richtig gekalkter bzw. gemergelter Felder[1]) leicht durch die Fähigkeit des verbesserten Bodengefüges, die Winterfeuchtigkeit in erhöhtem Maße aufzuspeichern.

γ. Die anderen Kalkdünger.

1. Kohlensaurer Kalk.

Da, wie wir oben sehen konnten, der überwiegende Teil der günstigen Wirkung des Ätzkalks auf seiner Umwandlung in leicht löslichen, kohlensauren Kalk im Boden beruht, so werden wir bei Besprechung des als Dünger verabfolgten kohlensauren Kalks der Löslichkeit desselben unsere ganz besondere Aufmerksamkeit widmen müssen. Weitgehend löslicher, kohlensaurer Kalk muß sich in seinem Einfluß auf den Boden dem Ätzkalk stark annähern, ja, ihn wohl auch dort übertreffen, wo die Bedingungen für baldige Überführung des Kalziumhydroxyds im Boden in das Karbonat und Bikarbonat keine günstigen sind, und daher das Hydroxylion Gelegenheit findet, seine das Bodengefüge beeinträchtigenden, aufteilenden Wirkungen auszuüben; das könnte bei sehr schweren, dabei an leicht löslichem Humus ärmeren, nicht besonders leicht durchlüftbaren, wasserreichen Böden der Fall sein.

Wirklich gibt hier die praktische Erfahrung der theoretischen Ableitung aus unseren, oben in längeren Überlegungen erzielten Ausführungen recht. B. Tacke teilt, wie schon oben erwähnt wurde, mit, daß „auf Marschböden entgegen aller Erwartung kohlensaurer Kalk als Handelsmergel in feinster Form besser wirkt, als gebrannter Kalk“ (— oder, was natürlich das nämliche bedeutet, da der gebrannte Kalk sich alsbald im Boden löscht, Ätzkalk —).[2]) Ich bezweifle durchaus nicht, daß gleiche Beobachtungen auch auf anderen, der Luft schwer zugänglichen, und wenig Kohlensäure bildenden Böden gemacht werden können, zumal, wenn man ganz frisch gelöschten Kalk anwendet, und ihn alsbald unterbringt, so daß nicht durch stärkere Bildung von Karbonat, wie sie beim längeren Liegen des Kalks auf dem Acker in kleinen, bedeckten Haufen

[1]) A. v. Rosenberg-Lipinsky, Prakt. Ackerbau, 7. Aufl. **2**, 452 (Breslau 1890).

[2]) B. Tacke, Landw. Versuchsstat. **85**, 235 (1914).

natürlich in gewissem Umfange möglich ist, der für den Boden ungünstigen Wirkung des Hydroxylions entgegengearbeitet wird. Jedenfalls wird die Verwendung gemahlenen Kalkmergels, wenn für wirklich äußerst feine Mahlung gesorgt wird, sich zum Nutzen unserer Landwirtschaft noch ganz erheblich ausbreiten können. Hoffentlich bringt der Frieden die Möglichkeit, durch umfangreiche Versuche die Praxis hierüber aufzuklären.[1])

Sind diese Ansichten richtig, so müßte auch durch andere, die Löslichkeit des kohlensauren Kalks erhöhende Mittel die Wirkung desselben erheblich zu steigern sein. Auch hier gibt die praktische Erfahrung den theoretischen Ableitungen recht. Wieder ist es einer unserer besten Lehrmeister in der praktischen Ackerbaulehre, A. v. Rosenberg-Lipinsky, den wir hier anführen müssen. Er teilt mit, daß beim Mergeln[2]) auf seinem Gute das vorher als Schafweide benutzte Land geschält, und der Mergel, der auf dem Gute selbst gegraben und zwecks guter Verteilung durchgefroren sowie auf das vollkommenste gepulvert worden ist,[3]) dann durch häufiges Eggen so gründlich und innig wie möglich mit dem Boden gemischt wird. Nach einigen Wochen erfolgt dann für den Hektar das Auffahren von 12 bis 20 zweispännigen Fudern Stalldünger, der mit besonderer Sorgfalt verteilt und gebreitet wird, um dann zugleich mit noch aufliegender, trockener Grasnarbe auf 10—12$^1/_2$ cm untergebracht zu werden. — Wir sehen demnach, daß sowohl durch die Unterbringung der Rasennarbe des Brachweidelandes, wie dann noch durch eine nicht ganz unerhebliche Stalldüngerverabfolgung reichlich organische Massen in den Boden gebracht werden, die in jeder Weise, durch sorgfältiges Verteilen, und flaches Unterbringen zu schneller Zersetzung, zu reichlicher Bildung von Kohlensäure angeregt werden. Daß tatsächlich

[1]) Nicht nur die höheren Unkosten, die gebrannter Kalk bedingt, sondern auch die große Unbequemlichkeit seiner Anwendung würde eine Ausdehnung der Verwendung feinstgemahlenen Handelsmergels als allgemein nützlich erscheinen lassen. Es kommt hinzu, daß selbst bis zur äußersten, praktisch in Betracht kommenden Grenze getriebenes Feinmahlen von Kalkmergel kaum soviel Kohlen kosten wird, wie das Brennen des Kalks.

[2]) Hier ist von Naturmergel, also sagen wir Mergelerde, die Rede, während vorher Handelsmergel, also gemahlener weicher Kalkstein, gemeint war. Gelegentlich kommt freilich auch Wiesen- oder ähnlicher Süßwasserkalk im Handel vor, so in Westpreußen vorwiegend. Vgl. M. Schmöger, Landw. Versuchsstat. **85**, 236 (1914). Mergel wurde in Deutschland im Jahre 1290 als Verbesserungsmittel des Ackers geschätzt. H. Droop, Brache i. d. mod. Landw. (Heidelberg 1900) 104.

[3]) A. v. Rosenberg-Lipinsky, Prakt. Ackerbau, 7. Aufl. **2**, 425 (Breslau 1890).

diese erhebliche Bildung von Kohlensäure, und die dadurch bedingte, reichliche Lösung des Mergels von größter Wichtigkeit für den Erfolg ist, erhellt aus folgenden Bemerkungen dieses Forschers in der Praxis: „Diese Dungbeigabe bleibt ein unerläßliches Bedingnis des durchgreifenden und nachhaltigen Erfolges. Erst seitdem ich das Mergeln nie ohne gleichzeitige Dungbeigabe vollziehe, macht sich dasselbe in der überraschendsten Weise bezahlt."[1]) — Bereits A. F. Hollemann sucht ferner schon vor einem Vierteljahrhundert das Ausbleiben einer Wirkung von Gaskalkgaben auf schwerem Klei(Ton-)boden durch Mangel an Kohlensäure zur Lösung des Kalks zu erklären.[2]) Auch R. Sachsse und A. Becker[3]) führen auf den Einfluß der Kohlensäure auf die Bodenkolloide den lockernden Einfluß zurück, den die Humusstoffe auf den schweren Boden ausüben. Mögen diese zum Teil auch nur dadurch helfen, daß sie die Kohäsion der Tonteilchen aufheben, indem sie sich als Fremdkörper dazwischen lagern bzw. sie weiter auch ausflocken, zum größeren Teil aber wirken sie jedenfalls als andauernde Kohlensäurequelle und erhalten und fördern dadurch die Flockenstruktur des Bodens. Wenn man erst gelernt hat, schärfer auf derartige Zusammenhänge zu achten, so wird gewiß noch reichliches Beweismaterial verfügbar werden. Einige Hinweise mögen noch folgen:

So sei wiederholt auf Th. Schlösing d. Ä. Beobachtung[4]) aufmerksam gemacht, daß beim Auswaschen von Erdboden die zuerst klar ablaufenden Waschwässer sich mit der Zeit trübten, was aber durch Einführung eines wenige Hundertteile CO_2 enthaltenden Luftstromes in die Erde wieder beseitigt werden konnte, da sich dann eben doppeltkohlensaurer Kalk bildete, und im Wasser gelöst die Teilchen ausflockte. An anderer Stelle[5]) weist denn auch Schlösing direkt darauf hin, daß es vor allem der zweifach kohlensaure Kalk ist, welcher im Boden die wichtigste Rolle in physikalischer Hinsicht spielt. Es bietet hiernach seiner Meinung entsprechend das Mergeln und Kalken des Bodens neben den bereits bekannten Vorteilen noch den weiteren, die zur Koagulierung des Tons unentbehrliche Bildung einer Lösung von doppeltkohlensaurem Kalk im Boden zu veranlassen. Auch an anderer Stelle weist Schlösing darauf hin, daß man nur durch Anwendung von Kohlensäure ganz klare Filtrate aus Erdboden erhalten kann, sonst trüben sie sich allmählich.[6]) A. D.

[1]) Ebenda 426. — [2]) A. F. Hollemann Landwirtsch. Versuchsstat. **41**, 40 (1892).
[3]) R. Sachsse und A. Becker, Landw. Versuchsstat. **43**, 20/21 (1884).
[4]) Th. Schlösing d. Ä., Ann. chim. et. phys. (5) **2**, 514 (1874).
[5]) Th. Schlösing d. Ä., Journ. agricult. (Barral) 50, 93, 140, 171 (1874).
[6]) Th. Schlösing d. Ä., Compt. rend. **70**, 1345 (1870).

Hall äußert sich geradezu: „Kalk, welcher das Hauptausflockungsmittel, das in der Praxis Anwendung findet, ist, wirkt nur, wenn er sich als Bikarbonat im Bodenwasser gelöst hat.[1])

Noch eine weitere Beobachtung aus der Praxis würde hier heranzuziehen sein: Wir wissen, daß durch das Wurzelatmen der Pflanzen ein sehr erheblicher Anteil der Bodenkohlensäure entsteht; es wird sogar, außer bei sehr stark mit organischen Massen gedüngten Böden diese Entstehungsquelle die wichtigste für die Bodenkohlensäure sein.[2]) Hiernach müßte ein Feldstück, das mit kräftiger Wurzelbildung versehene Pflanzen trägt, und nicht zu kalkarmen Boden besitzt, eine merkbare Lösung von Kalk durch Kohlensäure, und somit Bildung von Kalziumbikarbonat aufweisen können. Freilich wird es dabei wichtig sein, wie sich die Aufnahme des gelösten Kalks durch die Wurzeln stellt, da die Möglichkeit, daß ein größerer, oder geringerer Überschuß von Kalziumbikarbonat in der Bodenlösung bleibt, natürlich ebenso vorliegt, wie eine mehr oder minder völlige Aufnahme des in Lösung gehenden Kalks durch die Pflanzen. Je kräftiger das Wachstum, je dichter der Pflanzenbestand, je länger die Entwicklungs- und Wachstumszeit der Pflanzen sich stellt, um so mehr ist wohl, von einzelnen Unterschieden in den Ansprüchen der Pflanzenart abgesehen, die Wahrscheinlichkeit vorhanden, daß größere Mengen von gebildetem Bikarbonat in der Bodenlösung verbleiben, und auf das Gefüge des schweren Bodens günstig wirken können. Hiernach müßte länger andauernde Bedeckung schweren Bodens mit kräftigem Pflanzenwuchs durchaus günstig auf das Bodengefüge wirken, auch seinerseits eine gewisse Gare hervorrufen.

Und wirklich finden wir nicht nur eine, sondern eine ganze Reihe in dieser Richtung liegende Beobachtungen: R. Warington stellt fest:[3]) „Eine wirksame Kur für einen unbehandelbaren Ton ist, ihn als Grasland niederzulegen. Der Rasen schützt den Boden vor der schädlichen Aufrührung des Tons bei heftigem Regen. Der Schaden durch Bestellungsarbeiten hört auf. Der Boden ist sich selbst und den Natureinflüssen der wechselnden Jahreszeiten überlassen. Wenn das Land später aufgepflügt wird, findet man es in vorzüglich krümeliger Beschaffenheit.“ — Ohne daß die Bedeutung des Regenschutzes zu gering veranschlagt werden soll,[4]) hat doch der englische Forscher das, was hier vor allem wichtig ist, nur mit den etwas dunklen Worten „Der Boden ist sich selbst und den Natur-

[1]) A. D. Hall, The Soil (London 1908) 254.

[2]) Vgl. unten 639.

[3]) R. Warington, Lect. some physic. propert. soil (Oxford 1900) 41.

[4]) R. Warington erwähnt nachher auch noch die Tätigkeit der Regenwürmer.

einflüssen der wechselnden Jahreszeiten überlassen" umschrieben. Die Kohlensäurebildung ist es, die hier wohl wesentlich an der Besserung des Bodengefüges arbeitet, indem sie Kalziumbikarbonat in Lösung bringt. Natürlich muß, soll dies in ausreichendem Maße geschehen können, entweder der Boden an sich kohlensauren Kalk enthalten, oder durch Düngung empfangen haben.

In ganz der gleichen Richtung liegt die Feststellung von A. D. Hall,[1]) daß Grasland, das lange Zeit ohne Bearbeitung gelegen hat, bei der Schlämmanalyse besonders wenig feinste Teile (Clay) gibt, im Vergleich zu anderem, sonst entsprechenden Lande. Wird dagegen der Boden mit Säure vorbehandelt — und dadurch der kohlensaure Kalk herausgelöst, —, so sind die Mengen feinster Teilchen die gleichen. Also tritt auch hier die starke, Kalk lösende und zur Wirksamkeit auf das Bodengefüge bringende Wirksamkeit dauernder Pflanzenbestände hervor.

Auch C. A. Weber läßt recht ähnliche Anschauungen erkennen. Nachdem er die Bedeutung einer guten Bodengare für die Anlage von Weideländereien hervorgehoben hat, schlägt er zur Erreichung derselben, zur Schaffung besten Bodengefüges gründliche Bearbeitung, unterstützt durch Düngungen mit organischem Dünger vor, also auch Mittel, die unsere Äcker zu stärkerer Kohlensäurebildung befähigen: „Auf schwerem, untätigem Boden läßt sich ein geeigneter Garezustand besonders durch den Voranbau von Rotklee, Bastardklee, Luzerne oder Esparsette erreichen."[2]) Günstig für die Gestaltung des Bodengefüges soll sich demnach gleichfalls hier der Anbau von Dauerfutterpflanzen mit stärkstem Wurzelsystem und entsprechender Kohlensäureausatmung zeigen, die bereits durch ihr bloßes Fortkommen dartun, daß es dem Boden nicht an dem nötigen Vorrat von kohlensaurem Kalk fehlen kann.

Wir dürften hiernach die Bedeutung des kohlensauren, oder besser gesagt, des doppeltkohlensauren Kalks, des Kalziumbikarbonats, ausreichend zu würdigen vermögen. Vielleicht mag noch ein letztes Beispiel nützen. Da, wie wir erkennen konnten, der gebrannte Kalk nach seinem Übergang in leicht löslichen kohlensauren Kalk im Boden wirkt, so muß er natürlich eine weit stärkere Wirksamkeit entfalten, als der sonst übliche, kohlensaure Kalk, der als Handelsdüngemittel gekauft wird, und zumeist nicht besonders fein gemahlen ist. Will man demnach Ätzkalk durch den kohlensauren Kalk des Handels ersetzen, ohne daß durch besonders feine Mahlung, starke Kohlensäurebildung im Acker oder

[1]) A. D. Hall, Journ. Chem. Soc. Transact. **85** (2), 963 (1904).
[2]) C. A. Weber, Mittlg. Ver. Förd. Moorkultur **10**, Sonderdruck, **4** (1911).

ähnliche Hilfsmittel eine schnelle Auflösung des letzteren gesichert wäre, so muß man ihn in entsprechend stärkerer Gabe verabfolgen, um so die genügende Menge Kalziumbikarbonat in die Bodenlösung zu bringen. Auch hier entspricht die Erfahrung der Praxis den theoretischen Erwägungen. So wird in Schlesien nach E. Bannert[1]) bei der üblichen, starken Chilesalpeterdüngung zu Zuckerrüben als Vorbeugungsmittel gegen den zum guten Teil auf ungünstiger Gestaltung des Bodengefüges beruhenden Wurzelbrand eine Gabe von 6 dz Ätzkalk oder von 16—20 dz kohlensaurem Kalk auf den Hektar verabfolgt.

2. Gips.

Was den Gips anbelangt, so steht bei ihm dem zweiwertigen Kalziumion das entgegengesetzt geladene, ebenfalls zweiwertige Sulfation gegenüber,[2]) soweit nicht auch in wohl sehr viel geringerer Menge das Ion HSO_4' auftritt. Es ist bekannt, daß die ausflockende Wirkung des Kalziumions von der hemmenden des Sulfations zwar nicht beseitigt, aber doch in erheblichem Grade gemindert wird,[3]) und daß so auch die geringe Wirkung des Gipses auf die physikalische Beschaffenheit des Bodens ihre Erklärung findet. G. Givens oben angeführte Untersuchungen sind ja ohne weiteres in dieser Hinsicht deutlich.[4]) Daß jedenfalls wohl noch eine gewisse, vorteilhafte Wirkung des Gipses in dieser Hinsicht vorhanden bleibt, beweisen die Untersuchungen von R. Sachsse und A. Becker,[5]) bei denen Gipswasser zwar schlechter als Kalkwasser, aber immer noch besser als destilliertes Wasser auf die Bildung und Größe der Bodenkrümel wirkte. Vielleicht kann man auch S. Krawkows Versuch über das Hinabsinken von Wasser in mit Kalksalzen versehenem Boden heranziehen. Der kohlensaure Kalk dürfte dabei infolge Kohlensäuremangels weniger zur Wirkung gekommen sein, als der Gips.[6]) Die in früheren Zeiten vielfach hochgeschätzte, in neuerer Zeit aber kaum noch beobachtete günstige Wirkung des Gipses ist indes auch in älteren Schriftstellern nicht nach der Richtung des Bodengefüges hin erklärt worden. So wird

[1]) Ökonomierat Dr. E. Bannert, Sitzung der Dünger-Abtlg. d. Deutsch. Landw. Gesellsch., Berlin, 20. 10. 1909.

[2]) Siehe Anm. 5 auf S. 583.

[3]) Vgl. R. Sachsse u. A. Beckers Untersuchungen, über nächste Anm. u. später.

[4]) Vgl. oben 568.

[5]) R. Sachsse und A. Becker, Landw. Versuchsstat. 43, 15 (1894). Ob nicht durch die Maßnahmen beim Schlämmen von Erdboden mit Kalkwasser im Laboratorium das Kalkwasser merkbare Mengen von Kalziumbikarbonat enthielt, sei dahingestellt. Die Ergebnisse würden sich hierdurch weit besser erklären.

[6]) S. Krawkow, Journ. Landw 48, 222 (1900).

der Gips uns hier nicht wesentlich weiter fesseln können. Selbst ein der Beeinflussung der Bodengare und ähnlicher Erscheinungen so aufmerksam gegenüberstehender Forscher wie A. v. Rosenberg-Lipinsky bringt nur eine Mitteilung über die Wirkung des Gipses, die sich lediglich durch die Fähigkeit desselben erklären dürfte,[1]) für Leguminosen einem daran offenbar armen, ausgesprochenen Mergelboden Schwefelsäure zuzuführen. Dagegen ist nach ihm das Gipsen auf schwerem, nassen Letten-, Ton- und Lehmboden ohne Erfolg, wo doch gerade eine günstige Wirkung auf das Bodengefüge am besten hervortreten müßte.[2]) Was die zum Teil auch auf der Gipsbildung beruhende Wirkung des schwefelsauren Ammoniaks auf das Bodengefüge anbetrifft, so ist weiter unten darüber gesprochen. Freilich, genaue Experimentaluntersuchungen unter Berücksichtigung aller bedeutungsvollen Nebenumstände fehlen hier, wie nahezu auf sämtlichen Teilen des in Rede stehenden Gebietes. Es wäre im höchsten Maße wünschenswert, daß hier fleißige Einzelarbeit einsetzte, und Mittel dafür zur Verfügung gestellt würder.

3. Phosphorsaurer Kalk.

Was weiter den phosphorsauren Kalk anbetrifft, der ja durch unsere Phosphatdüngungen reichlich in den Boden gelangt, so liegen bei dessen Lösung in Wasser recht verwickelte Verhältnisse vor, die trotz der sorgfältigen Untersuchungen A. Rindells[3]) wohl noch nicht voll geklärt sein dürften.[4]) Es kommt, worüber noch später zu sprechen sein wird, hinzu, daß durch die Nährstoffaufnahme der Pflanzen mit der Zeit teilweise aus dem Kalkphosphat Kalkkarbonat werden dürfte, sowie daß die Kohlensäure des Bodenwassers usw. ebenfalls in die Lösungsverhältnisse der Phosphate eingreift.

Bei flüchtigem Betrachten möchte man annehmen, daß das dreiwertige Phosphation PO_4''' nicht nur ähnlich wie das Sulfation der ausflockenden, für das Bodengefüge günstigen Wirkung des $Ca^{\cdot\cdot}$-Ions entgegenarbeiten, sondern dieselbe vielleicht gar aufheben wird, seiner höheren Wertigkeit und damit stärkeren elektrischen Ladung halber. Ja, man könnte dazu aus alten Versuchen E. Heidens[5]) sogar Ver-

[1]) A. v. Rosenberg-Lipinsky, prakt. Ackerbau, 7. Aufl. **2**, 424 (Breslau 1890).

[2]) Ebenda 464.

[3]) A. Rindell, Dissertation (Helsingfors 1899); Compt. rend. **134**, 112 (1901).

[4]) O. Sackur, R. Abeggs Handb. anorgan. Chemie **2** (2), 146—147 (Leipzig 1905).

[5]) E. Heiden, Denkschrift 25jähr. Besteh. agrikulturchem. Versuchsstat. Pommritz, **2** u. a. 25, 195—196, 246—248, 251, 265, 269 (1883). Daß E. Heidens Ver-

suchsergebnisse über ungünstigen Einfluß einer Kalkphosphatdüngung auf die physikalischen Bodeneigenschaften anführen.

In Wirklichkeit bildet sich aber das Ion PO_4''' nur in äußerst geringem Betrage, schon das Ion HPO_4'' bildet sich nur sehr spärlich und wesentlich tritt nur die Bildung des einwertigen Ions H_2PO_4' ein.[1]) So würden wir ähnlich wie bei dem durch Kohlensäure gelösten Karbonat eine ganz erhebliche Wirkung des Kalziumions zu erwarten haben, wenn nicht die Löslichkeit der zur Düngung benutzten Phosphate, soweit sie nicht als aufgeschlossene, also Superphosphate gegeben werden, Abweichungen bedingte. Mehr als für eins der vorher genannten Kalksalze scheint für die Phosphate die Frage ihrer Wirkung auf die Bodenkolloide noch ungeklärt zu sein, obwohl theoretisch betrachtet ihnen, soweit sie in Lösung sind, eine nicht geringe günstige Wirkung zugeschrieben werden müßte,[2]) was ja auch, soweit Versuchsmaterial vorliegt an der Hand desselben, wie oben gezeigt, glaublich erschiene. Für solche ist denn auch ein Hinweis in den unten angeführten Versuchsergebnissen von R. Sachsse und A. Becker, wie von E. Blanck[3]) zu erblicken.

4. Kalksalpeter.

Auch dies Kalkdüngemittel mag wenig Wirkung auf das Bodengefüge äußern, da es zumeist nur in ziemlich niedrigen Gaben verabfolgt werden dürfte. Soweit das Salz nicht völlig zur Aufnahme durch die Pflanzen kommt, hinterbleibt kohlensaurer Kalk im Boden, was wohl die Regel bilden wird. Doch ist die auf solche Weise den Boden beeinflussende Menge zu gering, um größere Verbesserungen des Bodengefüges zu erzielen. Trotzdem darf man der Wirkung einen gewissen Nutzen nicht absprechen, um so weniger, als die in erster Linie zu vergleichenden Stickstoffdüngesalze, wie Chilesalpeter und schwefelsaures Ammoniak, den Boden in physikalischer Hinsicht ungünstiger stellen müssen, zumal der erstgenannte. Im übrigen fehlen experimentelle Untersuchungen über die Wirkung des Kalksalpeters auf das Bodengefüge.

suche trotz der großen Sorgfalt in ihrer Ausführung vor nunmehr über vierzig Jahren manche ihren heutigen Wert stark beeinträchtigende Fehler, wie besonders Mangel an Parallelausführung tragen, kann kaum überraschen.

[1]) Wi. Ostwald, Grundlin. anorgan. Chemie, 2. Aufl. (Leipzig 1904) 376.

[2]) Dem entsprach auch die sehr stark flockende Wirkung des Monokalziumphosphats bei den Untersuchungen von R. Sachsse und A. Becker, Landw. Versuchsstat. **43**, 22 (1894). Ähnliche Ansichten sollen auch von M. Märker geäußert worden sein, doch konnte ich an den in der Literatur angegebenen Stellen nichts dergleichen finden.

[3]) E. Blanck Landw. Jahrb. **38**, 866 (1909).

5. Kalkstickstoff.

Während man die Zerlegung dieses Kunstdüngemittels im Boden mit Bezug auf seinen stickstoffhaltenden Bestandteil schon eifrig untersucht hat, ist dem Verhalten und dem Verbleib seines Kalkanteils so gut wie gar keine Beachtung geschenkt worden. Man weiß nur, daß der Kalk des Kalkstickstoffs im Boden schnell in kohlensauren Kalk übergehen dürfte. Von diesem mag später ein Teil wieder zu salpetersaurem Kalk werden. Daß Kalkstickstoff irgendwelche besonderen Wirkungen auf das Bodengefüge ausübt, ist bei den geringen Gaben, ebenso wie für den Kalksalpeter, nicht zu erwarten. Immerhin darf man annehmen, daß sein Kalkgehalt sich als nicht ungünstig erweist.

bb) Kolloidwirkung des Kalks.

Daß der Kalk in seinen verschiedenen Formen günstig auf die Struktur der Böden einwirkt,[1]) ist wohl allgemein anerkannt, und es konnte ja soeben der Versuch einer theoretischen Erklärung für die dabei auftretenden Unterschiede gegeben werden. Es ist freilich besonders bei der Verwendung von Mergel zu beachten, daß auch Nebenbestandteile des selbstgewonnenen Mergels eine erhebliche, vom Kalk unabhängige Wirkung physikalischer Art auszuüben vermögen. So kann durch Mergeln eine erhebliche Zuführung von Bodenkolloiden eintreten, wie z. B. A. Orth[2]) anführt, daß bei einer Mergelung des Gutes Friedrichsfelde die Menge der abschlämmbaren Bestandteile in den oberen Bodenschichten um 5% zunahm.

Daß die Kalkwirkungen auf die physikalischen Bodeneigenschaften im wesentlichen mit den Bodenkolloiden zusammenhängen, ergibt sich besonders deutlich durch Berücksichtigung der schon mehrfach hier gebrachten Ansichten über die Lockerung des Bodens und den Eintritt der Gare.

Wie bereits an verschiedenen Orten, so muß auch hier darauf hingewiesen werden, daß sich die wesentlichen Veränderungen an den kleinen Bestandteilen unseres Erdbodens abspielen, wenn diese sich unter Wasser oder von Wasser umhüllt befinden. Als schlagender Beweis sei dafür noch einmal die Gestaltung der Bodenbakterien erwähnt, die durch ihre Geißelausrüstung und ihr sonstiges Leben uns als typische Wasserlebewesen erscheinen[3]) und die doch noch viel größer sind, als die

[1]) O. Engels, Landw. Versuchsstat. **83**, 464 (1914).

[2]) A. Orth, Geogn.-agron. Kartierung (Berlin 1875) 38.

[3]) Bei Mangel an Wasser erlischt das Bakterien- und Kleinwesenleben im Boden oder geht in seine Ruhe- und Dauerformen über. Ein Beweis mehr, daß das Normale für die Mikroben im Boden das Leben im Bodenwasser ist.

meisten Einzelteilchen unserer Bodenkolloide. Wir wissen weiter, daß ein Erdboden, in dem die mannigfachen Umsetzungen gut und glatt von statten gehen sollen, einen gewissen Feuchtigkeitsgehalt nötig hat, einen Feuchtigkeitsgehalt, der sich uns als ein die feineren Bodenteilchen einhüllendes Wasserhäutchen darstellen muß. So ist also schon im gewöhnlichen, naturfrischen Erdboden Wasser genug vorhanden, um es uns zu ermöglichen, einen Teil seiner Bestandteile, und gerade die kleineren und kleinsten, als zeitweise im untergetauchten Zustande befindlich anzusehen. Daß die Ablagerung von Bodenkolloiden aber, soweit sie unter Wasser stattfindet, durch das Kalziumion weitgehend beeinflußt wird, indem sich unter seinem Einfluß lockerer liegende, umfangreichere Haufwerke bilden, konnte ich bereits mehrfach in früheren Arbeiten betonen.[1]) Es sei noch einmal darauf hingewiesen, daß Franz Schulze[2]) und ebenso später A. Atterberg beim Absetzen von Sand aus Wasser durch Kalkzusatz[3]) eine wesentlich lockerere Schichtung beobachten konnten, als wenn sich der Sand aus reinem Wasser niedersenkte.[4]) Wenn nun E. Blanck bei seinen, sonst meiner Ansicht nach nicht immer ganz zweckmäßig durchgeführten Versuchen beobachten konnte, daß mit Kalk gemengter feuchter,[5]) fest eingestampfter Erdboden stets ein größeres Volum einnahm, obwohl gleiche Mengen zur Untersuchung verwendet wurden,[6]) so ist es doch wohl eigentlich naheliegend, die hier auftretende gleiche Erscheinung wenigstens zum Teil auf die gleichen Ursachen zurückzuführen, und darin eine Folge der Zusammenballung feiner Bodenteilchen zu erblicken, genau so wie bei dem in Wasser aufgeschwemmten Sande. Daß bei solchen Flockenbildungen von Bodenteilchen wirklich Kolloidvorgänge eine Rolle spielen, wies bereits E. W. Hilgard vor vierzig Jahren nach. Er beobachtete flockenartige Zusammenballungen feiner Bodenteilchen bei mehrfachem Abschlämmen und erklärte dies durch von der beabsichtigten abweichende Nebenströmungen des Wassers, so daß es sich hier um eine rein mechanisch herbeigeführte Zusammenballung handelte.[7]) Auch W. R. Williams[8]) machte dann ähnliche Mitteilungen,

[1]) Vgl. u. a. besonders Koll.-Zeitschr. **3**, 196 (1908).
[2]) Franz Schulze, Ann. Phys. u. Chem. (5) **9**, 375 (1866).
[3]) Halbgesättigtes Kalkwasser.
[4]) A. Atterberg, Landw. Versuchsstat. **69**, 131 (1908).
[5]) 10—11% des lehmigen Sandes.
[6]) E. Blanck, Landw. Jahrb. **38**, 735 (1909).
[7]) E. W. Hilgard, Amer. Journ. Science Arts **6**, 290 (1873).
[8]) W. R. Williams, Forsch. Geb. Agrikulturphysik **18**, 248, 258, 276 u. 277 (1895).

und W. Ramsden[1]) beobachtete Zusammenballung von Kolloiden durch starke Bewegung.

In ganz der gleichen Richtung einer Erklärung der Kalkwirkung[2]) durch Flockenbildung der Bodenteilchen liegt die Feststellung von F. Schucht,[3]) daß die mechanische Zusammensetzung der Marschböden durch Kalkgehalt lockerer wird, wie von M. Bräuhäuser und A. Sauer,[4]) daß Kalk den festgelagerten Bleichsandböden Krümelstruktur verleiht, während auch Th. Dietrich eine Erhöhung des Bodenvolums bei Gestein und Erdmassen durch Kalk schon vor mehr als einem halben Jahrhundert feststellte. Er konnte bei humushaltigem Lehmboden sogar ein um das Dreifache größeres Volum beobachten.[5]) A. Halenke und seine Mitarbeiter stellten endlich ebenso für den Löß ein Verschwinden seiner lockeren, krümeligen Lagerung mit fortschreitender Entkalkung fest,[6]) wie M. Bräuhäuser eine unbestreitbare Volumverminderung, ein allmähliches, dichteres Zusammensetzen der übrigbleibenden Bodenbestandteile überhaupt mit dem Entkalkungsvorgang verbunden fand.[7])

Es wäre ja auch gar nicht einzusehen, weshalb die Zusammenballungserscheinungen, welche bei in Wasser aufgeschwemmtem Erdboden als Folge der Kalkwirkung auftreten, sich nicht auch dort betätigen sollten, wo wie bei Erdboden in seiner natürlichen, feuchtfrischen Lage doch zum mindesten ein ganzer Teil der feinen Bodenteilchen ebenfalls von Wasser umgeben ist. Natürlich werden sich den auf Zusammenflockung hinarbeitenden Bewegungen der Bodenteile hier zum Teil Widerstände entgegenstellen, von deren Bedeutung es abhängen wird, ob es überhaupt zu einer solchen Bewegung und damit Zusammenflockung kommt. Aber einmal kann, wie ich bereits ausführlich darlegte, durch andere Einflüsse auch für festgelagerten Boden die Bedeutung solcher Widerstände beseitigt werden, so durch Spaltenbildung und Wasserwirkung,[8]) weiterhin scheint aber auch in festgelagertem Erdboden unter

[1]) W. Ramsden, Zeitschr. physik. Chem. **47**, 336 (1908).

[2]) Natürlich nur die hier in Betracht gezogene Art der Kalkwirkung.

[3]) F. Schucht, Journ. Landw. **53**, 310 (1905).

[4]) M. Bräuhäuser und A. Sauer, Erl. Geol. Spezialkarte Württembg., Bl. Alpirsbach **117**, 111 (1913).

[5]) Th. Dietrich, Journ. prakt. Chem. **74**, II, 140 (1858).

[6]) A. Halenke, M. Kling und O. Engels, Vierteljahrsschr. Bayer. Landw.-Rat **10**, 451 (1906).

[7]) M. Bräuhäuser, Erl. Geol. Spezialkarte Württembg., Bl. Friedrichshafen-Oberteuringen **173/174**, 106 (1915).

[8]) Vgl. die Angaben über Bodengare oben.

Umständen die Flockenbildung durch Kalksalze die Widerstände des Bodens zu überwinden vermögen. Denn E. W. Hilgard vermochte, wie ich oben schon darlegte, durch bloße Behandlung mit Gips und Wasser die vertieften, Pockennarben ähnlichen Alkaliflecken oft nach und nach wieder zu der Höhe des nichtalkalischen Geländes aufschwellen zu lassen. Er führt weiter aus, daß „die physikalische Veränderung solchen Bodens sich in auffallender Weise dadurch zeigen läßt, daß man einen der zähharten Erdklötze, welche etwa die Brechstange (aus schwarzem Alkaliboden) herausgebracht hat, mit Gipsmehl bestreut und dann benetzt. Nach kurzer Zeit, schon innerhalb einer halben Stunde, beginnt derselbe zu erweichen und abzukrümeln; und bei fortgesetzter Einwirkung ist er nach einigen Tagen zu einem Krümelhaufen zerfallen, der ein viel größeres Volum besitzt als die ursprüngliche Scholle.[1]) Weiter konnte Ach. M. Grégoire für Kohlenkalkböden, die bis in tiefe Schichten entkalkt waren, feststellen, daß sie in Wasser kein Ausflocken ihres Tones zeigen. Er sah hierin gewiß mit Recht eine der Ursachen ihrer ungünstigen landwirtschaftlichen Eigenschaften.[2]) Ganz der hier vertretenen Anschauung entspricht es, wenn R. Albert Kalk im Waldboden zur Förderung der Krümelstruktur und Erhöhung des Porenvolums verwenden will.[3]) Daß auch Sandböden, zumal feinkörnige Sande, ausgesprochene Krümelung zeigen können, gab schon E. Ramann an,[4]) und erweiterte dies dann dahin, daß alle guten Acker- und Waldböden Krümel bilden.[5]) — Für die Richtigkeit der Erklärung der Kalkwirkung auf die physikalischen Bodeneigenschaften auch für den frischfeuchten Boden durch Annahme einer Flockenbildung, die der Kalk in Aufschwemmungen von Bodenteilchen hervorruft, mag noch folgendes angeführt sein:

Daß durch Kalkgaben die Kohäsion, das Zusammenhalten schwerer Böden, vermindert wird, ist eine altbekannte Beobachtung.[6]) Es bezieht sich das sowohl auf das Verhalten in feuchtem wie wesentlich in trockenem Zustande. E. W. Hilgard knetete z. B. festen Tonboden mit 1% Ätzkalk zusammen. Der ursprüngliche Boden war nach dem Austrocknen stein-

[1]) E. W. Hilgard, Forsch. Geb. Agrikulturphysik **16**, 165 (1893).

[2]) Ach. M. Grégoire, Bull. soc. chim. Belg. **22**, 93 (1908).

[3]) R. Albert, Zeitschr. Forst- und Jagdw. **37**, 143—144 (1905).

[4]) E. Ramann, Bodenkunde, 2. Aufl. (Berlin 1905), 229.

[5]) E. Ramann, Bodenkunde, 3. Aufl. (Berlin 1911), 299.

[6]) So schon bei A. D. Thaer, Grunds. ration. Landw., 1. Aufl., **2**, § 143, 136 (Berlin 1810).

hart, der mit Kalk versetzte locker und mürbe.[1]) Schon F. Home[2]) weiß, daß „der Kalch das starke Zusammenhängen der Theilgen des Thons verhintert". Und J. N. v. Schwerz führt als Unterscheidungszeichen zwischen kalkhaltigem und kalklosem Ton an, daß der erste, in nassem Zustande gepflügt, leicht abtrocknet und bei geringer Berührung zerfällt, der zweite aber Klötze bildet, die wie Steine verhärten.[3]) W. Thaer endlich konnte drei schwere Bodenarten, wenn sie ungekalkt verblieben, in mäßig feuchtem Zustande kaum mit einem kleinen Spaten durchstechen, während dieselben Böden gekalkt sich vollkommen krümelten und dem Umarbeiten kaum mehr Schwierigkeiten entgegensetzten als Sand.[4]) Endlich seien u. a. die ähnlichen Arbeiten von F. Haberlandt,[5]) wie H. Puchner[6]) angeführt, von denen die des Letztgenannten zu dem Schlusse gelangten, daß die absolute Festigkeit des Tons durch die Beimischung geringer Mengen von Ätzkalk in allen Feuchtigkeitszuständen des Bodens in erheblichem Grade vermindert wird.[7]) Diesbezügliche Beobachtungen von G. Given,[8]) und die Erklärung dieser Kalkwirkungen durch die wohl auf chemischen Umsetzungen beruhende Aufnahme von $Ca(OH)_2$ ins Innere der Tonteilchen konnten bereits oben gegeben werden.[9])

Tritt in dem mit Kalk versetzten Erdboden wirklich eine Flockenbildung der feinen und feinsten Teilchen, von deren Menge ja zum großen Teil die Bindigkeit abhängt,[10]) ein, so wird dadurch die Anzahl der Berührungspunkte im Inneren des Bodens abnehmen, da sich ja nun zwischen den entstandenen Flocken oder Krümeln Stellen verminderter Berührung und damit verminderter Haftfähigkeit zeigen müssen. So wies auch bei H. Puchners Untersuchungen Boden im Zustand der Einzelkornstruktur eine ungleich höhere Bindigkeit auf, als bei krümeliger Beschaffenheit.[11]) Da nun aber wirklich Kalkzusatz, wie von zahlreichen Forschern nachgewiesen, die Bindigkeit des Bodens stark vermindern kann, so liegt es nahe, auch als Erklärung auf die Flockung der Boden-

---

[1]) Nach E. Ramann, Forstl. Bodenk. u. Standortsl. (Berlin 1893) 57.

[2]) F. Home, Grunds. d. Ackerb., übers. I. C. Wöllner (Berlin 1763) 55.

[3]) J. N. v. Schwerz, Prakt. Ackerbau (Stuttgart und Tübingen 1823) **1**, 31.

[4]) W. Thaer, Preisschr. philos. Fak. Göttingen (1910) 19.

[5]) F. Haberlandt, Forsch. Geb. Agrikulturphysik **1**, 148 ff. (1878).

[6]) H. Puchner, ebendort **12**, 233 (1889).

[7]) Leider ist für die Versuche nicht wirklicher Ton, sondern Kaolin benutzt worden.

[8]) G. Given, Inauguraldissertation Göttingen (1915) 21/22.

[9]) Oben 571.

[10]) Vgl. u. a. H. Puchner, a. a. O 231

[11]) H. Puchner, a. a. O. z. B. 241.

kolloide zurückzugehen, die ja bereits nach dem früher Gesagten in solchem Falle mit ziemlicher Sicherheit angenommen werden kann. Es mag auch darauf hingewiesen sein, daß beim Ausfällen von Suspensoid-Solen deren Zähigkeit abnimmt.[1]) Betrachtet man den Ton im Hinblick auf die in ihm in großen Mengen vorhandenen feinen und feinsten Sande, so kann man ihn als Suspension, als Aufschwemmung, ansehen.

Dafür, daß wesentlich Zusammenballungen und Flockungserscheinungen die physikalischen Wirkungen des Kalks auf schwerem Boden bedingen, kann auch noch das Verhalten von gekalktem und nicht gekalktem Boden bezüglich des Schwundes beim Eintrocknen aufgeführt werden. Bekanntlich wird, wie auch oben ausgeführt, das „Schwinden" beim Eintrocknen von Tonboden dadurch bedingt, daß die feinsten Teilchen unter Abgabe von Wasser enger und enger aneinanderrücken.[2]) Sind aber durch Flocken- oder Krümelbildung selbständige Haufwerke im Boden entstanden, so müßte man annehmen, daß dann die Schwindung nur eine geringere sein kann, da sich diese selbständigen, größeren Anhäufungen nicht mehr so eng und einheitlich aneinander lagern können, wie die feinen einzelnen Teilchen. Wenn nun, wie die Beobachtung zeigt, Kalkgabe die Schwindung des Tons in jedem der beobachteten Fälle vermindert,[3]) so wird man auch hieraus mit einem gewissen Recht schließen dürfen, daß der Kalk Flockenbildung im Boden hervorgerufen hat.

Auch die bei Bestimmung der Hygroskopizität nach H. Rodewald-A. Mitscherlich[4]) sich ergebenden Werte sprechen dafür, daß Kalkanwendung Verminderung der Oberfläche, also eine Zusammenballung und Ausflockung im schweren Boden bedingt. Sämtliche Ergebnisse zeigen eine bis zur Höhe von gelegentlich 13,2 % steigende Verminderung der Hygroskopizität durch Kalkung.[5])

Daß endlich auch beim Vergleich der Krümelstruktur des Bodens im freien Felde mit den Ergebnissen der Absatzgeschwindigkeit des entsprechenden Bodens unter Wasser sich enge Beziehungen ergeben, lehren die Untersuchungen von A. Mausberg, die uns freilich auch wieder

[1]) H. W. Woudstra, Zeitschr. phys. Chem. **63**, 619 (1908).

[2]) Vgl. oben 146 ff. und 206 ff.

[3]) W. Thaer, Preisschrift der philosophischen Fakultät Göttingen 54 (1910).

[4]) H. Rodewald-A. Mitscherlich, Landw. Versuchsstationen **59**, 433 (1904).

[5]) E. Blanck, a. a. O. 753; ferner Annäherungswerte bei W. Thaer, a. a. O. 58; O. Engels, Landw. Versuchsstat. **83**, 448 u. f. (1913). Daß hierzu die auch durch dessen Versuche selbst in dieser Allgemeinheit nicht gerechtfertigten Behauptungen von R. Hoffmann nicht passen — Landw Versuchsstat. **85**, 137 (1914) — sei beiläufig hervorgehoben.

zeigen, wie sehr neue und exakte Methoden noch für diese Gebiete fehlen. Der genannte Forscher[1]) fand für lange Zeit hindurch gleichartig behandelte Ackerstücke:

Brockengröße der Erde bei	Krümel in %	Brocken in %	Klumpen in %
Durchmesser:	kleiner als 20 mm	20—40 mm	größer als 40 mm
ungedüngtem Boden	64,1	14,7	21,2
mit Kalk gedüngtem Boden . . .	78,4	15,4	6,3

Absatzgeschwindigkeit der Erde[2]) der Ackerkrume bei		Der Kultivator brauchte Zugkraft in kg[3])
ungedüngtem Boden	Langsam	115
mit Kalk gedüngtem Boden	Mittler bis schnell	85

Verhalten der Erde bei der Bestellung:

ungedüngter Boden	Mäßig dicht und weniger abbindend.
mit Kalk gedüngter Boden	Vorzüglich gekrümelt.

Brockengröße der Erde bei	Krümel in %	Brocken in %	Klumpen in %
Volldüngung	75,2	20,6	4,2
Volldüngung ohne Kalk	65.9	19,5	11,1

Absatzgeschwindigkeit der Erde der Ackerkrume bei		Der Kultivator brauchte Zugkraft
Volldüngung	Mittler bis langsam	100
Volldüngung ohne Kalk	Langsam	110

Verhalten der Erde bei der Bestellung:

Volldüngung	Vorzüglich gekrümelt.
Volldüngung ohne Kalk	Leidlich gut gekrümelt.

Wir sehen demnach, daß die tatsächlich nachweisbare Krümelbildung auf dem Felde, ebenso wie die damit zusammenhängende Kraftaufwendung durch den Kultivator, sich der Absatzgeschwindigkeit der Ackerkrume entsprechend verhalten. Mit der Flockenbildung beim Absetzen und der dementsprechend größeren Absatzgeschwindigkeit geht auch bessere Krümelung des Bodens Hand in Hand. — Freilich sind diese Werte bezüglich ihrer Klarheit und Genauigkeit noch weit

[1]) A. Mausberg, Landw. Jahrb. **45**, 51 (1913).

[2]) Die Reihenfolge des Absetzens wurde nach einer sechsfachen Bezeichnungsart ermittelt, die sich etwa so darstellt:

schnellstes Absetzen,	mittleres bis langsames Absetzen,
schnelles Absetzen,	langsames Absetzen,
mittleres bis schnelles Absetzen,	langsamstes Absetzen.

Vgl. a. a. O 54.

[3]) A. a. O. 50. (kg soll vielleicht m/kg heißen?)

von dem entfernt, was als wissenschaftliches Ergebnis zwar leicht zu fordern, aber nur sehr schwer zu erreichen sein dürfte.

Daß endlich auch mannigfache Untersuchungen über die Durchdringbarkeit des schweren Bodens für Wasser gleichfalls den Gedanken an eine Ausflockung der Bodenkolloide durch Kalk nahelegen,[1]) sei beiläufig erwähnt. Indes mögen gerade diese Bestimmungen infolge mannigfacher Nebenumstände weniger zu einigermaßen sicheren Schlüssen geeignet sein. Erwähnt seien hier die Untersuchungen von R. Ulrich,[2]) die leider, wie viele derartige Untersuchungen mit Kaolin statt mit Ton durchgeführt worden sind. Auch anderweitige Einwände erscheinen möglich. Ulrich fand bei Ätzkalk eine fast 10% erreichende Erhöhung der wasserhaltenden Kraft, die er auf die dem bloßen Auge kenntliche, augenfällige Volumvermehrung zurückführt, welche sich bei Kalkzusatz zeigte,[3]) und zu deren Erklärung er auf die ausflockende Wirkung desselben hinweist. Da er mit einem Wassergehalt von nahezu 70 Gewichtsprozenten arbeitete, wird man schwerlich gegen diese Begründung Einwände erheben können. Ähnlich fand J. L. Beeson bei mit gebranntem Kalk versetztem Boden die bis zur Sättigung mit Wasser nötige Frist kürzer, als bei dem natürlichen, oder mit irgendeinem anderen Salz versetzten Boden.[4]) Entsprechend zeigte sich die Durchlässigkeit für Wasser durch CaO-Zusatz vor allen anderen Beimengungen, und dem natürlichen Boden gegenüber, gesteigert.

Dagegen erscheint mir als wichtiges Beweismittel der Hinweis von G. Rother zu würdigen, daß „ein armer Sandboden nur mit Lehmmergel, nicht aber mit Lehm allein melioriert werden kann. Der Lehm allein würde wegen Mangel an ausflockenden Salzen — in diesem Falle kohlensaurem Kalk, — sehr bald wieder ausgeschlämmt werden."[5])

Die hier vorgetragenen Ansichten sind auch schon früher, als man wesentlich nur die Untersuchungen Th. Schlösings d. Ä. und E. W. Hilgards, sowie Adolf Mayers und einiger anderer besaß, einleuchtend erschienen, wie die nachstehend angeführten Äußerungen R. Waringtons bestätigen. Dieser sagt: „Daß Tonböden nur, wenn der Kolloidton ausgeflockt ist, zerbröcklich und wasserdurchlässig sind, kann also als all-

[1]) Z. B. auch A. N. Pearson, zit. nach Forsch. Geb. Agrikulturphysik **16**, 229 (1893).

[2]) R. Ulrich, Forsch. Geb. Agrikulturphysik **19**, 49 u. f. (1896).

[3]) A. a. O. 53/54.

[4]) J. L. Beeson, Journ. Amer. Chem. Soc. **19**, 629 (1897). In vieler Beziehung sind die Feststellungen und Kenntnisse dieses Forschers, seiner Zeit entsprechend, zumal auf dem Gebiet der Bodenkolloide unvollkommen.

[5]) G. Rother, Inauguraldissertation Berlin (1912) 28.

gemeine Regel aufgestellt werden. Die Wirkung der verschiedenen, in der Landwirtschaft verwendeten Salze auf Tonböden erfordert noch ein weiter fortgesetztes Studium. Es erscheint mit einiger Deutlichkeit, daß Salze, welche zum in Wasser aufgeschlämmten Ton zugefügt seine Koagulation veranlassen, nichtsdestoweniger fähig sind, die Teilchen eines Tonbodens zerfallen zu machen", das heißt ihn zu krümeln.[1]) Und fast ein Jahrzehnt schon, bevor der englische Forscher diese Meinung äußerte, urteilte A. F. Hollemann über die Ursache der Kalkwirkung auf steife Kleiböden folgendermaßen: „Nachdem man dieselbe früher darauf hat zurückführen wollen, daß der Kalk bloß die Tonpartikelchen voneinander getrennt hält, indem er sich zwischen ihnen ablagert — eine Annahme,[2]) die sich schon dadurch als irrtümlich erweist, weil sonst jede andere Substanz, in gleicher Menge angewandt, denselben Effekt haben müßte, was offenbar nicht der Fall ist —, ist man jetzt wohl ziemlich allgemein der Meinung von Th. Schlösing d. Ä. zugetan, daß hier die eigentümliche Wirkung im Spiele ist, welche Salzlösungen und besonders Kalklösungen auf sehr fein verteilte, im Wasser schwebende feste Stoffe ausüben. Bekanntlich werden diese äußerst feinen Teilchen unter dem Einfluß sogar sehr geringer Mengen von Salzen zur Ablagerung gebracht; was man sich so vorstellen kann, daß sie sich alsdann zu größeren Massenteilchen vereinigen,[3]) welche jetzt nicht mehr schwebend bleiben können. Auf Kleiböden angewandt, wird man sich vorstellen müssen, daß auch hier, wenn das Grundwasser[4]) genügend kalkhaltig ist, die äußerst feinen Tonteilchen, welche sonst im Bodenwasser aufgeschlämmt die Poren des Bodens rasch verstopfen, sich zusammenballen und nun dem klaren Wasser die Zirkulation im Boden ermöglichen."[5]) Weiter erklärt später A. D. Hall[6]) mit Hinblick auf seine Rothamsteder Beobachtungen, daß „die Tatsache der Entflockung auf dem Felde sehr deutlich ist. Auf den Rübenstücken in Rothamsted, die alljährlich eine bedeutende Menge Natronsalpeterdüngung erhalten, hält der Boden mehr Wasser nach Regen zurück und bleibt lange feucht und steif, um dann gegebenenfalls zu einem harten Kuchen zusammen-

---

[1]) R. Warington, Lect. some physic. propert. soil (Oxford 1900) 33.

[2]) A. Mitscherlich bringt diese somit hier bereits erledigte alte Ansicht wieder, Bodenkunde, 2. Aufl. (1913) 100 u. 101.

[3]) Mit anderen Worten: ausflocken.

[4]) Wohl besser: wenn die Bodenlösung . . .

[5]) A. F. Hollemann, Landw. Versuchsstat. **41**, 39 (1892). Sehr ähnliche Anschauungen auch bei R. Sachsse und A. Becker, am gleichen Ort **43**, 15 ff. (1894).

[6]) A. D. Hall, Journ. Chem. Soc. Trans. **85**, 964 (1904).

zutrocknen. Diese Merkmale sind für einen feinkörnigen oder Tonboden charakteristisch, wenn die zusammengeballten Bodenkrümel in ihre letzten Einzelteilchen durch Aufrühren in feuchtem Zustande getrennt sind.... Die Existenz dieser Entflockung kann tatsächlich im Laboratorium dadurch gezeigt werden, daß man geringe Erdmengen von verschiedenen Teilstücken mit viel destilliertem Wasser ausschüttelt und die entstandenen Trübungen nach erheblicher Zeit vergleicht."

R. Sachsse und A. Becker suchten, von den ersten diesbezüglichen Arbeiten, die unser Landsmann, der Agrikulturchemiker und erste Forscher auf dem Gebiete der Bodenkolloide, F. Schulze,[1]) veröffentlichte und von deren Ergänzung und Ausbau durch Th. Schlösing d. Ä. ausgehend, ebenfalls zu der Wirkung des Kalks auf die Bodenkolloide Stellung zu nehmen.[2]) Sie schlämmten Kaolin und zwei natürliche, schwere Bodenarten mit destilliertem Wasser, sowie mit destilliertem Wasser unter Zusatz von 0,072 g CaO aufs Liter, und ebenso unter Beigabe von 200 ccm gesättigter Gipslösung, das ist wahrscheinlich 0,404 g wasserfreies Salz[3]) aufs Liter. Die Flockung durch die Kalkzusätze sollte sich durch die Veränderung der verschiedenen ausgeschlämmten Körnungsgruppen kennzeichnen. Sie erhielten:

	Durchmesser der ausgeschlämmten Körnchen		
bei Verwendung von destilliertem Wasser:	— 0,01 mm	0,01—0,05 mm	über 0,05 mm
für technisch geschlämmten Karlsbader Kaolin	99,5 %	0,25 %	0,25 %
für Reibersdorfer Boden ...	59 %	28 %	13 %
für Gundorfer Boden	30,5 %	32,5 %	37 %
bei Verwendung von Kalkwasser:			
für technisch geschlämmten Karlsbader Kaolin	80 %	19 %	1 %
für Reibersdorfer Boden ...	10 %	64 %	26 %
für Gundorfer Boden	22 %	40 %	38 %
bei Verwendung von Gipswasser:			
für technisch geschlämmten Karlsbader Kaolin	93 %	7 %	0 %
für Reibersdorfer Boden ...	36,5 %	51 %	12,5 %
für Gundorfer Boden	wie bei destilliertem Wasser		

[1]) F. Schulze, Jahrb. Akad. Eldena 1, 256, 258, 328, und an anderen Stellen (1848). Später auch Ann. Phys. u. Chem., 5. Reihe 9, 375 (1866).

Es zeigte sich also deutlich eine Krümel- oder Flockenbildung unter dem Einfluß der zugesetzten Kalksalze, die den früher ausgeführten theoretischen Voraussetzungen durchaus entspricht. Gipswasser übt nur eine erheblich geringere Wirkung aus, als das recht verdünnte Kalkwasser, ja bei dem Gundorfer Boden unterbleibt sie ganz. Daß dieser Boden überhaupt weniger auf Flockungsmittel reagierte, ist wahrscheinlich wieder auf dem Wege über die Kolloidwirkungen im Boden zu deuten. Denn ich konnte schon früher[1]) darauf hinweisen, daß der Gundorfer Boden als „dunkel gefärbt, von beträchtlichem Humusgehalt“ bezeichnet wurde und sogar sauer reagiert zu haben scheint, da er einen Kalkzusatz durch nachheriges Titrieren mit Schwefelsäure nur teilweise wiederfinden ließ. Hierfür können allerdings auch andere Gründe vorliegen. Es ist der Gedanke an eine „Schutzwirkung“, welche die Humussubstanzen hier ausgeübt haben dürften, jedenfalls nicht abzuweisen und der geringere Einfluß der Kalksalze erklärlich. Beobachtungen über solche Schutzwirkungen durch Humusstoffe machten bekanntlich auch noch W. R. Williams[2]) und E. Fickendey[3]) sowie andere,[4]) vor allem aber und als erster Th. Schlösing d. Ä.[5]) Endlich stellten Sachsse und Becker fest, daß beim Schlämmen mit Säurezusatz die Bildung von Bodenaggregaten eine noch weitergehende war. Es ergab sich dabei

bei Verwendung von Salzsäure[6])	Durchmesser der ausgeschlämmten Körnchen		
	— 0,01 mm	0,01—0,65 mm	über 0,05
für Karlsbader Kaolin	60 %	40 %	0 %
für Reibersdorfer Boden	ähnlich, augenblickl. Ausflockung		
für Gundorfer Boden	ähnlich, langsamere Ausflockung		

Es zeigte sich demnach auch hier, entsprechend früher erwähnten Beobachtungen, die deutlich stärkere Wirkung einer Mineralsäure, gegenüber dem Ätzkalk, während Kohlensäure, durch Bildung von Kalziumbikarbonat aus z. B. in dem Kaolin enthaltenem kohlensaurem Kalk,[7]) auch augenblicklich flockend wirkte.

[1]) P. Ehrenberg, Koll.-Zeitschr. **3**, 199 (1908).

[2]) W. R. Williams, Forschungen auf dem Gebiete der Agrikulturphysik **18**, 257 u. 291 (1895).

[3]) E. Fickendey, Journ. f. Landw. **54**, 343 (1906).

[4]) Siehe oben.

[5]) Th. Schlösing d. Ä., Ann. Chim. Phys. [5] **2**, 514 (1874).

[6]) 3 ccm vom spez. Gew. 1,19 auf das gesamte Schlämmwasser; es fand vielleicht auch Bildung von $CaCl_2$ statt.

[7]) Die hier genannten Forscher haben dies allerdings irrtümlicherweise damals nicht erkannt, da sie durch die geringe Wirkung des Gipses irregeführt waren.

Inzwischen ist durch J. P. van Zyl[1]) festgestellt worden, daß beim Abschlämmen mit Salzlösungen die Krümel des Bodens zuletzt auch zerstört wurden, so daß allerdings das Endergebnis, falls man lange genug arbeitet, vom Abschlämmen mit destilliertem Wasser kaum verschieden ist. Indes bleibt die größere Haltbarkeit der Bodenkrümel und Haufwerke bei Verwendung einer künstlichen Bodenlösung deutlich zu beobachten, ganz entsprechend den Erfahrungen Th. Schlösing d. Ä., wenn er frische, gekrümelte Erde mit destilliertem, oder mit Kalziumbikarbonat haltendem Wasser durchströmen ließ.[2]) Wenn nun die Zerstörung der wirklich im Erdboden vorhandenen Krümel unter den gleichen Bedingungen gefördert wird, wie bei derartigen Schlämmversuchen, so darf man wohl auf die gleiche Ursache schließen, und ebenso für die entsprechenden Vorgänge der Erhaltung der Krümel. Das ist aber die Flockenbildung, das Ausflocken der Bodenkolloide unter dem Einfluß von Elektrolyten, wie es wieder zu der Bodenadsorption in enger Beziehung steht, was gleichfalls u. a. J. P. van Zyl[3]) zeigen konnte. Jedenfalls zeigt sich aus den Untersuchungen des Letztgenannten, auch im Einklang mit Feststellungen von A. D. Hall,[4]) sowie E. J. Russell,[5]) daß das Verhalten der Struktur der Böden unter verschiedenen Düngungs- und Klimaeinflüssen eng mit der Erscheinung der Flockung der Bodenkolloide und der Wirkung des Kalziumbikarbonats verbunden ist.[6])

R. Sachsse und A. Becker haben dann auch noch bei den gleichen Böden den Einfluß von Kalk, allerdings auch in sehr großen Mengen,[7]) auf die Wasserdurchlässigkeit und Quellungsfähigkeit untersucht und auch hier Ergebnisse erhalten, welche mit der Ansicht einer Flockung des Bodens durch die Kalksalze gut übereinstimmen. Während bei Kalkzusatz Wasser ohne Schwierigkeit sowohl den Kaolin wie den Reibersdorfer Boden durchdrang,[8]) trat ohne Kalkzusatz Verstopfung durch Aufquellen ein, die den Erdboden undurchlässig machte, beim Kaolin aber sogar zum Zersprengen des Glasrohres führte. Bei dem Erdboden war

[1]) J. P. van Zyl, Inauguraldissertation Göttingen (1916) 62/63.
[2]) Th. Schlösing d. Ä., Ann. chim. et phys. (5) **2**, 514 (1874).
[3]) J. P. van Zyl, a. a. O. 59/60.
[4]) A. D. Hall, Transact. Chem. Soc. **85**, 950 (1904).
[5]) E. J. Russell-H. Brehm, Boden u. Pflanze (1914) 99.
[6]) J. P. van Zyl, a. a. O. 66/73.
[7]) 2 %.
[8]) Gundorfer Boden wurde nicht untersucht. Die Bodenproben waren in den benutzten weiten Glasröhren durch ganz gleichmäßiges Aufklopfen festgerüttelt worden.

auch mit der Lupe eine besondere Lagerung des Bodens zu beobachten, die vielleicht im Sinne einer Flockenbildung gedeutet werden könnte.[1])

Schon Th. Schlösing d. Ä. konnte ja übrigens feststellen, daß ausgeflockte Tone guten Wasserabzug gestatten.[2]) J. B. Reynolds sah mit Zunahme des Kalkgehalts die Wasserdurchlässigkeit, Wasserkapazität und Krümelung des Tons zunehmen,[3]) ebenso A. N. Pearson,[4]) und E. W. Hilgard erkannte in der Tonflockung durch im kohlensäurehaltigen Bodenwasser gelöstes Kalkkarbonat die Ursache der physikalisch vorteilhaften Kalkwirkung.[5])

Wenn zum Beispiel beim Laboratoriumsversuch durch Kalk die Wasserhaltungskraft ebenso, wie die Durchlässigkeit des Bodens für Wasser, überhaupt die Auflockerung des schweren Bodens zunahm, und in enge Beziehung zur Ausflockung des Tons gesetzt werden konnte, — natürlich spielt auch die Beeinflussung des Humus und der übrigen Bodenkolloide dabei eine erhebliche Rolle —, so finden wir ganz entsprechende Beobachtungen wieder in der Praxis. Auch Th. Remys Beobachtungen über einen dauernd mit Kalk behandelten Boden und die an ihm erzielten Erfolge in bezug auf Lockerkeit, schnelleres Abtrocknen in feuchten Zeiten, und dergleichen kann man zur Beurteilung heranziehen.[6]) Weiter sei besonders auf Beobachtungen von A. v. Rosenberg-Lipinsky hingewiesen. Er teilt mit: „Mein Feld besteht bis in große Tiefe aus mildem, zum Teil aus fettem Lehm, und dennoch zeigen stets die gemergelten Flächen nicht bloß im ersten Jahre, sondern sogar nach Verlauf mehrerer Jahre, eine auffällige Frische gegenüber den ungemergelten Flächen. Diese Frische war in den dürren Jahrgängen 1857, 1858, 1859, 1865, 1868 so hervorstechend, daß nicht bloß die Schafweide auf jenen Äckern trotz der großen Dürre immer grün und kräftig blieb, sondern auch im Jahre 1859 der Sommerraps auf einer Fläche von 2 ha, welche bereits 1849 mit Mergel überfahren worden war, inmitten des übrigen Sommerrapsfeldes durch seinen gesunden und kräftigen Wuchs weithin vorteilhaft hervortrat.“[7]) — Wenn wir hierzu noch des gleichen Forschers Erkenntnis heranziehen, daß „es für den

[1]) R. Sachsse und A. Becker, a. a. O. 20.

[2]) Th. Schlösing d. Ä., Compt. rend. **70**, 1346 (1870).

[3]) J. B. Reynolds, Experiment Stations Record **10**, 228 (1898).

[4]) A. N. Pearson, Chem. News **66**, 53 (1892).

[5]) E. W. Hilgard, Soils (Neuyork 1907) 110, 390. Ähnlich noch E. Wollny, Österr. Landw. Wochenbl. **8**, 27 (1882); R. Warington, a. a. O. z. B. 26.

[6]) Th. Remy, Zentralbl. Bakter. (2) **22**, 577 (1909).

[7]) A. von Rosenberg-Lipinsky, Prakt. Ackerbau, 7. Aufl. **2**, 452 (Breslau 1890). Die gesperrten Worte bereits dort gesperrt.

wirksamen und durchgreifenden Erfolg des Mergelns hochwichtig bleibe, den auf das Kulturland verwendeten Mergel nur in solches Land zu bringen, welches noch so viel verwesbaren, organischen Stoff enthält, daß die Verwesungsprodukte Wärme, Kohlensäure, Ammoniak und Wasser," ihre nützlichen Eigenschaften zu entfalten vermögen, so wird tatsächlich von hier bis zu den Feststellungen Th. Schlösing d. Ä. über die Wirkung des durch Kohlensäure gelösten Kalks auf die Bodenkolloide,[1]) und bis zu den von mir auf diesen Blättern gegebenen Darlegungen über die Kalkwirkung kein allzu weiter Schritt mehr sein. Es möge eine Erinnerung an Th. Schlösing d. Ä. Feststellungen über das Zusammenkleben von Bodenkrümeln durch derart mit Kalk ausgeflockte Kolloide,[2]) sowie an E. Wollnys Beobachtung,[3]) daß die Beständigkeit von z. B. durch Gefrieren entstandenen Bodenkrümeln namentlich durch die Gegenwart von Kalk verstärkt wird, diese Behandlung der Kalkwirkungen schließen.

b) Kalidüngesalze.

Ungleich dem Kalk ist die Wirkung, welche unsere Kalidüngesalze auf die Bodenkolloide ausüben, eine verhältnismäßig geringe. Immerhin ist sie einer besonderen Behandlung wert, während die Bedeutung der Phosphorsäuredünger in der hier in Betracht kommenden Richtung so vollständig durch ihren Kalkgehalt beeinflußt werden dürfte, daß wir sie an diesem Orte fast übergehen können.[4])

Die Praxis kennt die Kalisalze und besonders die Kalirohsalze, welche große Mengen von Kochsalz enthalten, sowie das Kochsalz selbst als Verschlechterer der physikalischen Bodenbeschaffenheit, und bevorzugt daher auf schweren Böden die reineren Salze, welche fabrikmäßig hergestellt werden und von denen geringere Gewichtsmengen die gleichen oder gar größere Kalimengen den Pflanzen zur Verfügung stellen. Es wird sich fragen, ob auch hier in Anlehnung an etwaige Beeinflussung der Bodenkolloide eine Erklärung der Schädigung der Bodenstruktur gegeben werden kann.

Zunächst möchte dies nicht so scheinen. Denn wenn es auch aus

[1]) Th. Schlösing d. Ä., Ann. Chim. et. Phys. [5] **2**, 514 (1874); Compt. rend. **74**, 1408 (1872).

[2]) Th. Schlösing d. Ä., Compt. rend. **74**, 1408 (1872).

[3]) E. Wollny, Forsch. Geb. Agrikulturphysik **20**, 52 (1897/8).

[4]) Stark saure Superphosphate müssen auch noch dadurch wirken, daß sie den Kalk des Bodens aufschließen und zur Wirkung bringen helfen.

einer ganzen Reihe von Versuchen bekannt ist,[1]) daß sich die Kalisalze in geringerem Umfang auf Bodenkolloide flockend betätigen, als etwa Kalk, und daß Natronsalze es noch weniger vermögen,[2]) so wirken sie doch in ausreichender Menge unzweifelhaft fällend. Th. Schlösing d. Ä. gründete darauf doch sogar seine Methode, aus einem Ackerboden den Ton ohne die Humussubstanzen auszuscheiden, indem er die Aufschwemmung mit Chlorkalium fällte.[3]) Es wäre also durchaus nicht einzusehen, wie das Vorhandensein nur geringerer Mengen dieser Salze, und besonders der Natronsalze die gute Beschaffenheit der Böden erhalten, beziehungsweise nicht beeinträchtigen sollte, während bei Anwendung größerer Mengen Schädigung einträte.[4])

Wenn ich trotzdem die bekannt ungünstige Wirkung größerer Mengen von Kalirohsalzen auf schwere Böden mit Hilfe der Kolloiderscheinungen erklären will, so muß ich zunächst auf einen anderen Vorgang im Boden zurückgreifen, der sich als dem Leser nicht mehr unbekannt erweisen wird.

aa) Sodabildung.

J. M. van Bemmelen beobachtete bei Behandlung eines Ackerbodens mit Kalisalzlösungen in Gegenwart und Abwesenheit von Kalk, daß „in der Chlorkaliumlösung sich etwas Kalziumkarbonat löst, so daß sich Chlorkalzium und Kaliumkarbonat bilden".[5]) Und wir erinnern uns jetzt, daß für die Wirkung der Salzmengen, welche in Böden durch Meeresüberschwemmungen, oder durch Verwitterung unter aridem Klima auftreten, die Umsetzung von kohlensaurem Kalk mit den Alkalisulfaten oder Chloriden zu Alkalikarbonat und einem anderen Kalksalz eine ganz maßgebende Rolle spielte.[6])

Es liegt sehr nahe, daß beim Verbringen großer Mengen von

[1]) Man vgl. z. B. A. D. Hall, The Soil (London 1908) 39, der Th. Schlösings d. Ä. sehr viel frühere Versuche — Ann. Chim. Phys. [5] **2**, 514 (1874) — bestätigt.

[2]) A. D. Hall fand als annähernd vergleichsweise Wirkung für $CaCl_2 = 15$; $Ca(NO_3)_2 = 10$; $CaSO_4$ mehr als 5; $KCl = 3$; KNO_3 mehr als 2; K_2SO_4 weniger als 1; NaCl mehr als 1; $NaNO_3$ weniger als 2; Na_2SO_4 0,5. Vgl. a. a. O. 39. Man beachte, wie auch hier die mit den Metallionen vereinigten Ionen die Fällungsfähigkeit beeinflussen. Nach Th. Schlösing d. Ä., E. Frémys Encyclopaedie chimique **10**, 63 (1885), fällen Kalksalze fünfmal so stark wie Kalisalze.

[3]) Th. Schlösing d. Ä., Compt. rend. **135**, 601 (1902).

[4]) Deshalb blieb auch E. Wollnys Versuch, in dieser Richtung an der Hand der Flockungswirkung den Einfluß der Kalisalze zu erklären, unklar und ohne zwingenden Erfolg. Vgl. Österr. Landw. Wochenbl. **11**, 435 (1882).

[5]) J. M. van Bemmelen, Landw. Versuchsstat. **21**, 135 (1878).

[6]) Vgl. oben 337 und 349.

Alkalisalzen in den Boden, wie dies in weiterem Umfange eine Folge der Düngung mit Kalirohsalz darstellt, im Boden gleichfalls Bildung von Alkalikarbonaten, besonders Natriumkarbonat, auftritt, so daß wir derart uns künstlich einen, wenn auch mit den in der Natur vorkommenden Schwarzalkaliböden nicht vergleichbaren Sodaboden herstellen.

Hinzu kommt, daß bei Pflanzenwachstum auf derart mit Kalirohsalzen gedüngten Böden die Bildung von Kohlensäure im Boden durch die Wurzelatmung noch erheblich stärker werden dürfte, als wenn sie nur auf die Bakterientätigkeit bei der Humusverwesung angewiesen sein würde. Und daß das Vorhandensein genügender Kohlensäuremengen für die erwähnte Umsetzung von maßgebender Bedeutung sein muß, konnte ich ja oben ausführen.

So bildet sich unter dem Einfluß der Bodenkohlensäure auf den kohlensauren Kalk des Bodens bei Gegenwart größerer Mengen von Kalirohsalzen im Boden Alkalikarbonat.[1]) Dies wirkt nun um so stärker zerstörend auf die Flockenbildung des Bodens, um so mehr auf das Zusammenfließen und Verschlämmen hin, als es durch die Humusstoffe des Bodens und deren „Schutzwirkung" erhebliche Unterstützung findet. Wie weitgehend unter Umständen Schutzkolloidwirkungen durch Humus die ausflockende Wirkung von kohlensaurem Kalk zu hemmen vermögen, wenn sie durch merklich alkalische Reaktion der Bodenlösung — also z. B. geringen Sodagehalt derselben — unterstützt werden, beweist eine Mitteilung E. W. Hilgards. Hiernach[2]) wurde ein Boden mit erheblichen Mengen löslicher Kalksalze durch (Humusgehalt und) alkalische Reaktion im Gegensatz zu dem ganz ähnlichen, nicht alkalischen guten Ackerboden der Nachbarschaft landwirtschaftlich unbrauchbar.

Nicht nur die Zerstörung der Krümelstruktur allein ist es, was in solchem Fall den Boden schädigen kann; das möchte man vielleicht

[1]) Daß es sich hierbei um Vorgänge handelt, die sowohl experimentell erwiesen, wie nach chemischen Grundgesetzen, so besonders dem Massenwirkungsgesetz, theoretisch zu erwarten sind, konnte bereits oben am angeführten Orte auseinandergesetzt werden. — Man vgl. zur Erläuterung der teilweisen Umsetzung von als Dünger gegebenem Kochsalz mit dem kohlensauren Kalk des Bodens in Chlorkalzium und Soda auch die Beobachtungen von W. Schneidewind und D. Meyer an Kartoffeln. Diese fanden, daß die Kartoffeln nach einer Kochsalzdüngung eine ganz erhebliche Chloraufnahme zeigten. „Es muß demnach, da das Natron bei der Kartoffel nicht oder nur in unerheblichem Maße zur Aufnahme kommt, das Chlor bei der Kartoffel in anderer Form als in Form von Kochsalz aufgenommen werden." Vgl. Landw. Jahrb. **33**, 351 (1904); Arb. Deutsch. Landw.-Ges. **193**, 27 (1911).

[2]) E. W. Hilgard, Forsch. Geb. Agrikulturphysik **2**, 452 (1879).

noch nicht als so wichtig veranschlagen, da man meinen könnte, durch zweckmäßige Behandlung und Düngung des Bodens den Nachteil wieder gutzumachen und günstige Gefügeverhältnisse doch herzustellen. Aber da, wie nun schon öfters ausgeführt, mit der Krümelstruktur auch die Flockung der Bodenkolloide schwindet oder vielmehr besser gesagt die Krümelstruktur größtenteils erst die Folge der Flockung der Bodenkolloide ist, die durch schwach alkalische Reaktion vernichtet wird,[1]) so schlämmen sich die Bodenkolloide nun leicht in Wasser auf und werden durch dasselbe zur Seite oder auch in die Tiefe fortgeführt. Das mußten englische Landwirte auf ihren Feldern beobachten, die sie lange Zeit hindurch mit Kochsalz gedüngt hatten,[2]) und zwar wahrscheinlich mit nicht ganz geringen Mengen. Es bildete sich im Untergrund durch die von der Sodabildung im Boden begünstigte Durchschlämmung der feinsten Teilchen eine Grundschicht (pan), über die R. Warington sagt: „In Ermangelung genauerer Informationen scheinen diese sog. „Salzgrundschichten" (salt-pans) durch Hinabwaschung feinen Tons in den Untergrund zu entstehen, die von der Zerstörung der Oberflächenteile durch das Salz herrührt." [3]) Auch Th. Remy stellte lang andauernde, ungünstige Nachwirkung von Kochsalzdüngung auf die physikalische Bodenbeschaffenheit, somit Mangel jeglicher Gare fest.[4]) Selbstverständlich kann auch hierbei das Salz allein nicht diese Erscheinungen bedingt haben; erst seine Umsetzung mit kohlensaurem Kalk bei Gegenwart von Bodenkohlensäure hat es auch hier zur Sodabildung im Boden und damit sogar zu Anklängen an die Bildung der festen Untergrundschichten kommen lassen, die auf Alkaliböden etwas Gewöhnliches sind.[5])

---

[1]) Vgl. Th. Schlösing d. Ä., Ann. Chim. Phys. [5] **2**, 514 (1874): „Die Alkalien haben in kleiner Menge eine absolut entgegengesetzte Wirkung, sie erleichtern die Aufschlämmung der Trübungen." Man vgl. auch die Angaben des gleichen Forschers in Compt. rend. **74**, 1408 (1872).

[2]) Auch F. Schindler, Lehre v. Pflanzenbau auf physiol. Grundl., allg. Teil (1896) 239 ff., weiß, daß tonreiche Bodenarten durch Kochsalzdüngung mechanisch verdorben wurden.

[3]) R. Warington, Lect. some physic. propert. soil (Oxford 1900) 33.

[4]) Th. Remy, Zentralbl. Bakteriol., (2) **22**, 577 (1909). Vgl. weiter unten die Erfahrungen F. Wohltmanns auf dem Versuchsfelde Bonn-Poppelsdorf.

[5]) Vgl. E. W. Hilgard, Soils (1907) 185. Ähnlich schreibt N. N. Stepanow: „Es schwankt die Alkalität der einzelnen Proben von Alkaliböden, ausgedrückt als Na_2CO_3, zwischen 0,033—0,169 %. Bei den Alkaliböden liegt dicht unter der Oberfläche eine außerordentlich feste, braunrote Tonschicht. Sie sind für Wasser vollständig undurchlässig; werden sie mit Wasser aufgeschlämmt, so findet im Verlauf vieler Tage und sogar Wochen gar kein Sinken der Bodenteilchen auf den Boden des Gefäßes statt; Journ. exp. Landw. **4**, 692 (1903); **11**, 74 (1910).

Daß unter dem Einfluß von Soda in der Bodenlösung die Krümel sich auflösen und der Boden dadurch zusammensinkt, ist von E. W. Hilgard mehrfach betont worden.[1]) Die gleiche Tatsache dürfte vielleicht der von L. J. Briggs und M. H. Lapham beobachteten Tatsache zugrunde liegen, daß Sodalösung den kapillaren Anstieg des Wassers im Vergleich mit Neutralsalzlösungen gleicher Konzentration erhöht.[2]) Es lagern sich eben die Bodenteilchen enger zusammen, dadurch wird die Kapillarwirkung eine stärkere. Freilich findet S. Krawkow[3]) gerade umgekehrt, daß bei lehmigem Sand Soda und Ätznatron den kapillaren Aufstieg verzögerte, was freilich auch den soeben gegebenen Ausführungen entsprechend die Folge stärkerer Zusammenlagerung sein könnte, welche durch Spalten- und Zwischenraumbildung den kapillaren Zusammenhang gelegentlich unterbricht. — Die meisten derartigen Versuche bringen weitaus zu wenig Beobachtungsmaterial und sind zu wenig wissenschaftlich durchgeführt, um für uns Klarheit zu schaffen.[4])

Daß, wie durch Kalk der Boden lockerer und geeigneter zur Wasseraufnahme wird, so umgekehrt infolge des Zerfalls der Bodenkrümel durch Auflösung der Bodenkolloidausflockungen die Alkalikarbonate dem Boden eine geringere Wasserkapazität geben, möchte man aus R. Ulrichs Untersuchungen zu entnehmen geneigt sein,[5]) doch leiden diese an verschiedenen Fehlern und Unsicherheiten, so daß sie besser nicht ohne weitere Prüfung verwendet werden. Daß aber die Schwindung von Kaolin und so auch aller Wahrscheinlichkeit nach von schwerem Boden durch Zusatz von kohlensaurem Kali[6]) und noch ein wenig mehr von Ätzkali vermehrt wird, ergeben E. Wollnys Untersuchungen deutlich.[7]) Und in umgekehrter Weise, wie oben beim Kalk und seiner Wirkung auf den Schwund des Bodens beim Trocknen, wird man diese Untersuchungen als Anzeichen dafür betrachten dürfen, daß die kohlensauren Alkalien, indem sie die Bodenkolloide in den Solzustand überführen, die Annäherung der einzelnen Teilchen begünstigen.

Alle diese und auch noch manche der früher angeführten Tatsachen lassen es erklärlich erscheinen, daß Sodabildung durch sekundäre Um-

[1]) E. W. Hilgard, Soils (Neuyork 1907) 114 u. 429.

[2]) L. J. Briggs und M. H. Lapham, U. S. Departm. Agric., Bur. Soils, Bull. **19**.

[3]) S. Krawkow, Journ. Landw. **48**, 218 (1900).

[4]) Ohne Parallelbestimmungen, ohne Angaben und Beobachtungen über jeden einzelnen Versuch usw.

[5]) R. Ulrich, Forsch. Geb. Agrikulturphysik **19**, 48 ff. (1896).

[6]) Ein Druckfehler spricht a. a. O. von kohlensaurem Kalk, doch erhellt aus der Tabelle, daß es sich um kohlensaures Kali handelt.

[7]) E. Wollny, Forsch. Geb. Agrikulturphysik **20**, 21 (1897/98).

setzung von als Dünger gegebenen Kalirohsalzen für schwere Böden allerlei Schäden, Krustenbildung, schlechte Bearbeitbarkeit, ungünstige Wasserverhältnisse und desgleichen mehr herbeiführen wird. So teilt C. Luedecke mit, daß eine Art Flottlehm in Schlesien durch starke Kainitdüngung so undurchlässig an der Oberfläche wird, daß bei nassem Wetter das Regenwasser im Frühjahr lange Zeit in Pfützen oben auf stehen bleibt, und die Frucht trotz richtiger und gut wirkender Dränage verdirbt.[1]) In der Sodabildung haben wir also die eigentliche Ursache für derartige Vorgänge zu erblicken, wie dafür, daß der Praktiker, durch die Erfahrung belehrt, die Anwendung der Kalirohsalze auf schweren Böden scheut.[2])

Wieweit die oben[3]) auch bereits gewürdigte Tatsache der Zurückdrängung einer derart eintretenden alkalischen Reaktion durch stärkere Kochsalzmengen für die Düngung mit Kalirohsalzen eine Rolle zu spielen vermag, kann zumeist nur im Einzelfall beurteilt werden. Voraussichtlich darf man aber im allgemeinen sagen, daß die Schädigung des Bodengefüges durch Kalirohsalzgaben sich wegen der zunächst vom Kochsalz bedingten Zurückdrängung der alkalischen Reaktion mit voller Ungunst erst dann voll zeigen wird, wenn einige Zeit nach der Düngung vergangen ist, bzw. wenn der größere Teil des Natriumsalzes wieder den Boden verlassen hat. Das zeigen auch neue Untersuchungen von L. T. Sharp,[4]) der freilich den eigentlichen, oben[3]) dargelegten Grund der Schädigung nicht erkannte. Wohl aber vermochte er den engen Zusammenhang zwischen der Schädigung des Bodens durch Natronsalze, die er beobachtete, zwi-

---

[1]) C. Luedecke, Kulturtechniker **12**, 129 (1909).

[2]) Nach A. Mausberg, Landw. Jahrb. **45**, 51 (1913), war nicht nur die Abtrocknung des längere Zeit allein mit Kainit gedüngten, schweren Bodens im Frühjahr verzögert:

Wassergehalt der obersten Bodenschicht: ungedüngt 18,27 %
Kainit 19,26 %,

die Lockerheit der Kalibeete geringer und die Krümelung auf ihnen erheblich weniger fein. Es zeigte sich auch, wenn bei Volldüngung die Kainitgabe fortgelassen war, ebenfalls noch eine Verbesserung der physikalischen Eigenschaften des Bodens. So ergab sich der Wassergehalt der obersten Bodenschicht bei

Volldüngung . . . . zu 18,68 %
Volldüngung ohne Kainit . . . zu 17,70 %.

Der Bearbeitungswiderstand wurde am Kultivator gemessen für

Volldüngung . . . . mit 100 kg,
Volldüngung ohne Kali . . . . mit 95 kg.

Freilich sind diese Bestimmungen, wie schon erwähnt, noch weit von der erwünschten Exaktheit entfernt. Vgl. Landw. Jahrb. **45**, 46—50 (1913).

[3]) 350 u. f.

[4]) L. T. Sharp, Univ. California Public. Agric. Sci. **1**, Nr. 10, 291 (1916).

schen der Krümelzerstörung und Verschlämmung einerseits, und dem in Aufschwemmungen des betreffenden Bodens ersichtlichen Verhalten desselben andererseits festzustellen. Ganz ähnlich beobachtete M. Böttcher,[1] daß ganz entsprechend der aufschwemmenden oder ausflockenden Wirkung eines Elektrolyten auch das Volum der von ihm beeinflußten Tonmasse und die Krümelbildung oder Einzellagerung der Teilchen sich gestaltete. Wenn der Ton aufgeschwemmt wurde, zeigte sich das Volum der von dem betreffenden Salz beeinflußten Tonmasse merkbar kleiner, und wies unter dem Mikroskop ein äußerst feines und gleichmäßiges Gefüge auf, während sonst das Volum merklich großer, und das Gefüge aus größeren, unregelmäßigen Haufwerken zusammengesetzt war.

Daß die Kalisalze allein, ohne Umsetzung mit Kalkkarbonat und Kohlensäure und dadurch bedingte Sodabildung, dem Boden nicht erheblich ungünstige Eigenschaften verleihen, wird man vielleicht, abgesehen von meinen bisherigen Ausführungen, nach Untersuchungen E. Blancks annehmen dürfen, wenn diese auch mit einem leichteren Boden und nur als Vorversuche durchgeführt worden sind.[2] Der mit Kainit gedüngte Boden zeigte hier gegenüber ungedüngtem Boden keine Verminderung des Wasserdurchlaufs. Nach der ganzen Lage der Dinge — kohlensaurer Kalk blieb fast ohne nennenswerte Wirkung — muß man wohl annehmen, daß bei diesen Versuchen Bodenwasser wie Bodenluft nur recht wenig Kohlensäure enthielten und so natürlich auch eine Umsetzung zwischen Kalisalz und Kalkkarbonat des. Bodens unter Sodabildung nicht in Betracht kam.

Da nach unseren bisherigen Kenntnissen darüber in den Boden gebrachte Salzmengen sich nur recht langsam auf dem Wege der Diffusion und in anderer Weise im Boden verteilen, selbst bei frischem und sogar ganz nassem Boden,[3] so erscheint es von dem soeben besprochenen Gesichtspunkt aus besonders erwünscht, daß eine gute Verteilung und Vermischung der Kalisalze mit dem Boden nicht außer acht gelassen wird. Denn die Gefahr einer Sodabildung wird im allgemeinen um so größer, je mehr Kalisalz vorhanden ist, so daß sie bei schlechter Verteilung zum mindesten an einzelnen Stellen des Bodens in Betracht kommen kann, wenn auch sonst die angewandte Düngesalzmenge im ganzen nicht so groß ist.

[1]) M. Böttcher, Dissertation Dresden (1908) 44/45.
[2]) E. Blanck, Landw. Jahrb. 38, 866 (1909).
[3]) Vgl. z. B. A. Muntz und H. Gaudechon, Compt. rend. 148, 253 (1909).

bb) Sonstige Ursachen für die schädigenden Wirkungen.

α. Basenaustausch.

Außer der soeben für die ungünstige Wirkung der Kalisalze auf schweren Böden gegebenen Begründung mag nun noch eine andere Möglichkeit, allerdings wohl zurücktretend, Beachtung verdienen. Ich habe ihrer bereits früher gedacht,[1]) auch ist der Gedanke in etwas veränderter Gestalt gleichfalls schon von D. J. Hissink vorgetragen worden.[2]) A. D. Hall glaubt ihm eine, wenn auch geringe Bedeutung beimessen zu sollen.[3])

Als Sitz der sog. Adsorption durch den Boden haben wir, wie ich oben ausführen konnte,[4]) eben vorwiegend die Bodenkolloide anzusehen, zumal die Humusstoffe[5]) und den Kolloidton.[6]) Auch die Praxis rechnet schon seit langem mit dieser Anschauung, indem sie vor dem Aufpflügen rohen Bodens aus tieferen Schichten warnt, weil sonst zu starke Adsorption auftreten würde.[7]) Hat doch der Untergrund unter unseren klimatischen Verhältnissen nahezu stets, infolge der Hinabschlämmung, mehr feinste Teilchen, als die eigentliche Ackerkrume.[8]) Ebenso nun, wie künstlich hergestellte kolloide Silikate dem Basenaustausch unterliegen[9]) und an Stelle des etwa in ihnen enthaltenen Kalks Alkalien zu setzen vermögen, werden dies auch die im Boden adsorptiv wirkenden kolloiden Bodenbestandteile tun,[10]) was ja

[1]) P. Ehrenberg, Mitteil. landw. Inst. Breslau **4**, 475 (1908).

[2]) D. J. Hissink, Chem. Weekblad **4**, 441 (1907).

[3]) A. D. Hall, Journ. Chem. Soc., Trans. **85**, 964 (1904).

[4]) Vgl. 289.

[5]) Das geht auch aus H. Eichhorns Untersuchungen hervor, vgl. Landw. Jahrb. **4**, 16 (1875). Man mag M. Berthelot, Compt. rend. **141**, 433, 798, 1182 (1905), vergleichen.

[6]) Vgl. u. a. W. R. Williams, Forsch. Geb. Agrikulturphysik **18**, 235, 271 (1895); ganz ähnlich die Anschauungen J. M. van Bemmelens über die Bedeutung der kolloiden Silikate des Bodens, Arch. Néerland. Scienc. exact. natur. (2), **10**, 207 (1905); A. A. J. v. 'Sigmond, Intern. Mittlg. Bodenk. **5**, 212 (1915). Auch G. Appelt, Pflanze u. Boden (Breslau 1889) 93, vertrat bereits derartige Ansichten; R. Sachsse, Chem. Centr. **1**, 752 (1895); H. Puchner, Landw. Versuchsstat. **66**, 463 (1907).

[7]) A. Orth, Landw. Versuchsstat. **23**, 49 (1879).

[8]) Abgesehen natürlich von Fällen gänzlich verschiedener Bodenbeschaffenheit, wenn etwa Flußschlick auf Sand liegt.

[9]) Vgl. z. B. die Angaben von Th. Way, Journ. Roy. Agric. Soc. England **11**, 313 (1850); **13**, 123 (1852); **15**, 491 (1854).

[10]) Vgl. z. B. F. Brustlein, Ann. Chim. Phys. **56**, 157 (1859); E. Peters, Journ. f. Landw. **2**, 113 (1858); H. Eichhorn, Landw. Jahrb. **4**, 9 (1875).

auch alles bereits bekannt und geprüft ist. Weiter konnte G. Wiegner feststellen, daß bei seinen Permutitversuchen das Ammoniumdoppelsilikat [1]) dazu neigte, sich in Wasser aufgeschlämmt zu erhalten, während das Kalziumdoppelsilikat [2]) im Gegensatz dazu dies nicht tat [3]). Und ebenso bezeichnete schon R. Gans [4]) seine Alkalizeolithe als zähe, schleimige Massen, seine Erdalkalizeolithe dagegen als körnig und für Wasser leicht durchlässig. In gleicher Weise wird man auch für die Bodenkolloide, welche die Adsorption bedingen, ein entsprechendes Verhalten annehmen dürfen. Tritt somit in den Bodenkolloiden, welche vorher Kalk adsorbiert haben, nun nach einer stärkeren Düngung mit Kalirohsalzen durch Basenaustausch Kali oder Natron an Stelle des Kalkes, so kann wohl auch bereits hierdurch eine weniger günstige Änderung der physikalischen Eigenschaften des Bodens herbeigeführt werden, da die Bodenkolloide jetzt mehr zur Bildung von Aufschwemmungen und zum Aufquellen neigen dürften. Freilich mag sehr leicht durch die bei nicht gerade kalkarmem Boden im Laufe der Vegetationszeit auftretende Neubildung von gelöstem kohlensaurem Kalk auch wieder eine mehr oder weniger weitgehende Ersetzung des aufgenommenen Alkalis durch Kalk stattfinden und so die Beschaffenheit der Bodenkolloide wieder sich günstiger gestalten. Kommt es aber infolge von Kalk- oder Kohlensäuremangel im Boden nicht dazu, so wird wohl durch Aufnahme von seiten der Pflanzen und auch durch Auswaschung ein wechselnder Teil des von den Bodenkolloiden adsorbierten Alkalis entfernt werden können, und diese nun wahrscheinlich in noch erhöhtem Maße dazu neigen, in den Solzustand überzugehen. An Bedeutung dürfte sich aber dieser Einfluß der Kalisalze auf die Bodenkolloide aus schon angeführten Gründen mit der Umsetzung gegen Kalziumkarbonat und daran anschließender Sodabildung im Boden zumeist nicht auch nur annähernd zu vergleichen vermögen. Dieser, wie überhaupt den wechselseitigen Umsetzungen im Boden, hat man wohl bislang bei Besprechung der vorliegenden Frage nicht die erforderliche Beachtung geschenkt.[5])

---

[1]) Kalziumpermutit, in dem das Kalzium mittels Basenaustausch durch Ammonium ersetzt worden war. Ebenso oder ganz ähnlich, wahrscheinlich sogar stärker, müßten sich die Erscheinungen bei Ersatz des Kalziums durch die anderen Alkalien, etwa Kalium oder vor allem Natrium, ergeben haben. Über die Herstellung vgl. G. Wiegner, Journ. Landw. **60**, 197 (1912).

[2]) Der übliche Kalziumpermutit.

[3]) G. Wiegner, Journ. Landw. **60**, 198 (1912).

[4]) R. Gans, Jahrb. preuß. Geol. Landesanstalt **26**, 179 (1905); **27**, 63 (1906).

[5]) Man vgl. die Zusammenstellung bei L. G. den Berger, Bull. Départ. Indes Néerland. **34**, 2 (1910).

β. Quellung.

Endlich hat L. G. den Berger die Aufmerksamkeit auf die Beeinflussung der Quellung von Bodenkolloiden durch verschiedene Salze gelenkt.[1]) Die Sache an sich ist ja nichts Neues, und auch schon von R. Sachsse und A. Becker ist z. B. die Wirkung der Salze auf die Quellung der von ihnen untersuchten Böden gleichzeitig mit der Wasserdurchlässigkeit beobachtet worden.[2]) Meiner Meinung nach hat auch L. G. den Berger den Umsetzungen im Boden nicht ausreichende Beachtung gewidmet, und seine Theorie über die mit Quellungserscheinungen verbundenen Diffusionsvorgänge in den Bodenkolloiden erscheint noch nicht in jeder Weise einleuchtend. Immerhin mag es recht nützlich sein, wenn die Aufmerksamkeit erneut auf die Quellungsvorgänge im Boden unter dem Einfluß verschiedener Salze gelenkt wird und so vielleicht auch dies Gebiet zu weiterer Bearbeitung kommt. Dann aber sind auch bei anderen Gelegenheiten neuerdings für eine gewisse Bedeutung des Herausdiffundierens von Stoffen aus Kolloiden oder kolloidähnlichen Körpern sprechende Tatsachen beobachtet worden,[3]) so daß L. G. den Bergers Ansichten zum mindesten eine eingehende Diskussion wert sind. Ob sich dabei allerdings herausstellen wird, daß die verhältnismäßig lange andauernden Veränderungen des Ackerbodens unter dem Einfluß von Kalirohsalzen oder Kochsalz wesentlich nach seinen Anschauungen zu erklären sind, erscheint schon deswegen recht zweifelhaft, weil die von ihm hervorgehobenen Diffusionsunterschiede kaum zu einer länger dauernden Beeinflussung führen können, sich vielmehr in verhältnismäßig kurzer Zeit ausgleichen müssen. Ich kann daher auch derartige Vorgänge an den Bodenkolloiden nur nebenbei zur Erklärung der hier vorliegenden Kalisalzwirkung heranziehen.

cc) Bodenanfeuchtung.

Endlich sei hier eine Wirkung der Kalirohsalze kurz erwähnt, bei der noch ein Einfluß auf Bodenkolloide in Betracht kommt: die Verhinderung des Verwehens feiner Teilchen.

Oben konnte auf die Wirkung des Windes näher eingegangen werden.[4]) Um bei Ausführung von Moordammkulturen zu hindern, daß kleinkörniger Decksand durch Ausblasung seiner feineren Teile beraubt oder

---

[1]) L. G. den Berger, Bull. Départ. Agricult. Indes Néerland. **34**, 15ff. (1910).
[2]) R. Sachsse und A. Becker, Landw. Versuchsstat. **43**, 19/20 (1894).
[3]) P. Ehrenberg und F. Bahr, Journ. Landw. **61**, 457 u. 460 (1913).
[4]) S. 231 ff.

auch stellenweise ganz verweht wird — es ist dies nach E. Wollny nicht selten vorgekommen,[1]) — wird nach M. Fleischer[2]) durch eine ausreichende Kalisalzgabe für eine gewisse Feuchtigkeit des Bodens Sorge getragen.[3]) Wir haben hier, nur durch Menschenhand planmäßig ausgeführt, genau den Vorgang vor uns, der in manchen Steppengegenden den salzigen Takyrboden vor der Ab- und Ausblasung bewahrt.[4]) Ganz anderer Art ist der oben besprochene „unterirdische Tau" und seine Bildung, der hier nur insofern zu erwähnen ist, als für seine Entstehung starke Hygroskopizität des Bodens, wie sie etwa durch reiche Kalirohsalzdüngung bedingt wird, bedeutungsvoll sein soll.[5])

c) Stickstoffdüngesalze.

Die vielseitige Anwendung der Stickstoffdüngesalze läßt uns, wenn wir uns der Betrachtung ihres Einflusses auf die Bodenkolloide zuwenden, bereits erwarten, daß auch hier eine gewisse Ausbeute an wichtigen Tatsachen zu verzeichnen sein wird, während dagegen die im wesentlichen recht geringen Mengen, in denen diese Salze Verwendung finden — wenigstens, wenn wir ihre Größe an den vielfach üblichen Kalk- und Kalisalzgaben messen — doch wieder Zweifel in dieser Hinsicht erwecken mögen.

Um zunächst Klarheit über die hier zu behandelnden Salze zu gewinnen, seien sie genannt: Es kommt Chilesalpeter, $NaNO_3$, Kalksalpeter, $Ca(NO_3)_2$ und Ammoniaksalpeter, NH_4NO_3, dann schwefelsaures Ammoniak, $(NH_4)_2SO_4$ und Kalkstickstoff, CN_2Ca, in Betracht.[6])

aa) Weniger benutzte Stickstoffdünger.

Von ihnen enthält der Kalkstickstoff so viel Kalzium, zwischen 40—45%, daß diese 56—60% gebranntem Kalk entsprechende Menge[7]) durchaus die Einwirkung des Kalkstickstoffs auf die Bodenkolloide

[1]) E. Wollny, Zersetz. organ. Stoffe (1897) 378.

[2]) M. Fleischer, bei Ch. A. Vogler, Grundl. Kulturtechnik, 4. Aufl., **1**, I (1909).

[3]) Den Pflanzen allerdings würde hierdurch direkt zunächst kein größerer Wasservorrat zur Verfügung gestellt werden. Doch gehören diese Fragen nicht in unser Buch.

[4]) Vgl. Chr. Ohly, Intern. Mitteil. Bodenk. **3**, 419 (1913).

[5]) Vgl. z. B. E. Preißlers wohl ziemlich zweifelhafte Beobachtungen, Zeitschr. Deutsch. Zuckerindustrie (1907), Beilage zu Nr. 16, 337.

[6]) Für die Zukunft wird noch mit Chlorammonium, Ammoniumnatriumsulfat, Kalisalpeter, Salzgemischen und organischen Stickstoffverbindungen zu rechnen sein.

[7]) H. Immendorff und E. Kempski, Kalziumzyanamid (Stuttgart 1907) 17.

beherrschen dürfte, womit weitere Besprechung in dieser Richtung entfallen mag. Es kommt hinzu, daß von den aus dem Kalkstickstoff bei seiner Umsetzung im Boden entstehenden Verbindungen nur allenfalls das kohlensaure Ammoniak geeignet erscheint, einer günstigen Wirkung des Kalkgehalts auf den Boden entgegenzuwirken. Das kohlensaure Ammoniak aber dürfte teils infolge von Adsorption durch den Boden,[1]) teils wegen seiner Umwandlung in Salpetersäure zumeist bald verschwinden, sich zudem nur nach und nach im Boden bilden. Auch muß in dem Maße, als Salpetersäure entsteht, durch diese Kalk im Boden in eine sehr leicht lösliche und daher stark auf Kolloide wirkende Form übergeführt werden, soweit er nicht etwa bereits die wichtigste Form des Kalziumbikarbonats erreicht hatte.

Ganz ähnlich dürfte auch der Ammoniaksalpeter nur dadurch eine Wirkung auf die Bodenkolloide auszuüben vermögen, daß er, völlig in Salpetersäure übergehend, Kalkverbindungen des Bodens lösen hilft und so $Ca^{\cdot\cdot}$-Ion zur Beeinflussung der Bodenkolloide liefert. Sollte kurz nach seiner Anwendung, wie das wohl nicht unwahrscheinlich ist, wegen vermehrter Aufnahme von Salpetersäure durch die Pflanzen vorübergehend kohlensaures Ammoniak entstehen, so werden dessen Mengen doch nicht groß genug sein, um in nennenswertem Masse schädigend auf die Bodenkolloide zu wirken. Das nämliche gilt wohl in bezug auf die Umsetzung zwischen Ammoniaksalpeter und kohlensaurem Kalk unter Bildung von kohlensaurem Ammoniak, die durchaus im Bereiche der Wahrscheinlichkeit liegt.

Endlich wird auch der Kalksalpeter hier nicht viel Worte erfordern. Er bringt je nach der Fabrikationsart 25—44% CaO in den Boden, von denen teils nur eine ganz geringe Menge nicht an Salpetersäure gebunden, teils aber etwa die Hälfte als CaO oder $Ca(OH)_2$ vorhanden ist.[2])

Da Ionen, die der Kalkwirkung stärker entgegenarbeiten könnten, für den Kalksalpeter nicht in Betracht kommen,[3]) so wird sein Einfluß auf die Bodenkolloide sich lediglich als Kalkwirkung darstellen. Umsetzungen im Boden, die dem entgegenwirken könnten, werden aller Wahrscheinlichkeit nach kaum in Betracht kommen. A. Stutzer hebt denn auch hervor, daß Kalksalpeter die mechanische Beschaffenheit des schweren Ackerbodens nicht ungünstig beeinflussen kann.[4])

[1]) Ammoniak wird wesentlich stärker als die andern in Betracht kommenden Alkalien und Erdalkalien adsorbiert. Vgl. oben S. 308.

[2]) A. Stutzer, Journ. Landw. **55**, 72 (1907).

[3]) Insoweit als sein Kalziumhydroxyd rasch in Kalziumkarbonat übergehen muß.

[4]) A. Stutzer, Journ. Landw. **55**, 71 (1907).

Es bleiben für nähere Besprechung somit nur die altgewohnten Stickstoffdüngemittel übrig, der Chilesalpeter und das schwefelsaure Ammoniak.[1])

bb) Schwefelsaures Ammoniak.

Das letztgenannte wird, wie andere Alkalisalze, der Umsetzung mit kohlensaurem Kalk unter Bildung von Ammoniumkarbonat unterliegen können. Daneben entsteht dann Gips, eine Umsetzung, die von anderen hier nicht zu berücksichtigenden Gesichtspunkten aus für die Landwirtschaft erhebliche Bedeutung besitzt, oder besaß[2]). Zu einer durch alkalische Reaktion den Erdboden, wenn auch nur in schwachem Maße, in seinen physikalischen Eigenschaften schädigenden Ansammlung von Ammoniumkarbonat kann es aber nicht leicht kommen. Denn die Salpeterbildner wandeln zumeist das Ammoniumkarbonat ziemlich schnell in Salpetersäure um, die ihrerseits Kalk in Lösung bringt. Außerdem aber würde der immerhin nicht ganz wirkungslose und verhältnismäßig leicht lösliche Gips, der bei der Umsetzung entsteht, auch noch durch sein $Ca^{\cdot\cdot}$-Ion einen zum mindesten nicht ungünstigen Einfluß auf den Boden auszuüben vermögen. Endlich würde die Festlegung von Ammoniumkarbonat durch den Boden, wie durch seine Kleinlebewesen einwirken.

Am Schluß der Umsetzungen hat sich jedenfalls das vorher neutrale Ammoniumsulfat derart im Boden umgewandelt, daß es uns zumeist als freie Schwefelsäure und freie Salpetersäure entgegentreten müßte, wenn nicht durch die Pflanzen größere oder geringere Mengen davon aufgenommen würden. Auch wirkt natürlich der Kalk des Bodens neutralisierend. Die Salpetersäure wird nun von den der Stickstoffnahrung bedürfenden Pflanzen weitgehend verbraucht werden, dagegen darf man an der Hand der Versuchsergebnisse wohl nicht mit Unrecht annehmen, daß die Schwefelsäure nicht in gleicher Weise aufgenommen wird, sie bleibt demnach zum größeren Teil im Boden zurück.[3])

Durch die sich in Salpetersäure umwandelnden Stickstoffmengen der Ammoniumsulfatdüngung, wie durch die frei werdende Schwefelsäure müssen nun recht erhebliche Mengen von Kalk in Lösung gebracht werden.

[1]) Die nach dem Kriege voraussichtlich wichtigen Salze, Chlorammonium, Ammoniumnatriumsulfat, Kalisalpeter, Mischsalz und andere können hier noch nicht behandelt werden, da über ihre besondere Wirkung auf die Bodenkolloide noch kaum Erfahrungen vorliegen.

[2]) Vgl. P. Ehrenberg, Beweg. Ammoniakstickst. i. d. Natur (Berlin 1907) 45.

[3]) Vgl. z. B. P. Ehrenberg, Landw. Versuchsstat. **69**, 282 ff. (1908), weitere Literatur dort auch 260.

Am deutlichsten erhellt dies wohl aus Versuchsergebnissen in Rothamsted, über die A. D. Hall folgendes anführt:[1])

Der Kalkgehalt des „clay"[2]) der verschiedenen Proben betrug bei Verabfolgung von

Mineraldüngung[3]) und Ammoniumsalzen:	auf	Nr. 19	1,41 %
Mineraldüngung und Natriumnitrat:	„	Nr. 20	3,54 %
Superphosphat und Ammoniumsalzen:	„	Nr. 21	4,19 %
Superphosphat und Natriumnitrat:	„	Nr. 22	5,19 %.

Es erwies sich also sowohl dort, wo die Nebendüngung aus Kalium- und Magnesiumsulfat bestand, und so schon an sich eine gewisse Verminderung des Kalkgehaltes herbeiführen mußte,[4]) wie dort, wo Superphosphat verabfolgt worden war, jedesmal das mit Ammoniumsalz gedüngte Teilstück als an Kalk in den feinsten Bestandteilen[5]) verhältnismäßig verarmt, und zwar nicht unerheblich. Das beste Zeichen dafür, daß stets die aus dem Ammoniumsalz gebildete Salpetersäure, wie die an das Ammonium gebundene andere Säure ganz erhebliche Mengen von Kalk aus dem Boden gelöst haben müssen, die dann zum Teil von den Pflanzen aufgenommen, zum Teil aber ausgewaschen sein mögen, soweit sie nicht auch etwa nach Aufnahme der Salpetersäure wieder als kohlensaurer, leichtlöslicher Kalk abgeschieden wurden oder zu Basenaustausch Veranlassung gaben. Daß aber diese erheblichen Mengen gelöster Kalksalze auf die Bodenkolloide stark eingewirkt haben müssen, und zwar in für die physikalische Bodenbeschaffenheit durchaus günstigem Sinne, ergibt sich aus den oben zur Einwirkung der Kalkdüngung mitgeteilten Überlegungen. Diesen theoretischen Folgerungen entspricht auch die in Rothamsted gemachte Beobachtung völlig. Die dort dauernd mit Ammoniumsulfat gedüngten Felder zeigen die Entstehung eines offenen und zerbröckelnden Bodens, sehr im Gegensatz zu den ständig mit Natriumnitrat gedüngten Nachbarfeldern.[6])

Aus der neueren Literatur sind nun von A. Mausberg[7]) Angaben über die Wirkung ständiger Düngung mit schwefelsaurem Ammoniak auf dem Versuchsfeld zu Bonn-Poppelsdorf vorhanden, die jetzt zu prüfen sein werden. Allerdings ist hier als günstige Wirkung des Ammoniumsulfats

[1]) A. D. Hall, Journ. Chem. Soc., Transact. **85**, Tl. 2, 967 (1904).

[2]) Die feinsten, abschlämmbaren Teile von weniger als 0,002 mm Durchmesser.

[3]) Kalium- und Magnesiumsulfat.

[4]) Unter anderem auch durch die Umsetzung zwischen den Sulfaten und Kalziumkarbonat und folgende Auswaschung des Gipses.

[5]) Also im „clay"; vgl. unten 631, Anm. 4.

[6]) A. D. Hall, The Soil (London 1908) 254.

[7]) A. Mausberg, Landw. Jahrb. **45**, 38 ff. (1913).

nur zu beobachten, daß die am Kultivator erforderliche Zugkraft bei Volldüngung mit diesem Stickstoffdünger um 5 kg geringer ist, als bei entsprechender Chilesalpeterdüngung.[1]) Nur mag noch erwähnt sein, daß auf dem gleichen Felde nach Mitteilungen von Ph. Schneider[2]) bei Untersuchung von Bodenproben außer den mit Kalk und Magnesia gedüngten Teilstücken nur das Schwefelsaure-Ammoniak-Beet ein völlig klares Filtrat gab, im Gegensatz zu allen anderen. Sonst kam kaum eine einigermaßen deutliche Wirkung zur Beobachtung. Aber man muß beachten, daß der Boden ziemlich arm an kohlensaurem Kalk zu sein scheint,[3]) so daß das schwefelsaure Ammoniak trotz seiner Befähigung hierzu nicht so leicht größere Kalkmengen aus ihm in Lösung wird bringen und derart günstig auf die Bodenkolloide haben einwirken können. Bei Volldüngung aber dürfte die dabei verabfolgte Menge von Ätzkalk und gebrannter Magnesia[4]) eine Wirkung des schwefelsauren Ammoniaks in der hier besprochenen Richtung ziemlich ausschließen. Eher würde eine solche bei Anwendung gemahlenen Kalksteins möglich gewesen sein. Wir sehen also, daß das Ausbleiben ähnlicher Beobachtungen, wie sie in Rothamsted gemacht wurden, bei A. Mausberg nichts gegen die Richtigkeit meiner Ansicht besagt.

Dagegen mag immerhin erwähnt sein, daß ältere, wenn auch in mancher Hinsicht nicht ganz einwandfreie Versuche von E. Heiden, bei denen gleichfalls eine Düngung mit schwefelsaurem Ammoniak jahrelang allein verabfolgt wurde, mit den Rothamsteder Ergebnissen[5]) in vieler Hinsicht zu vergleichen sind. Zunächst zeigt sich auch ein erheblicher Verlust des ammoniumsulfatgedüngten Teilstückes an Kalk,[6]) während der Untergrund daran angereichert ist. Und während dazu der Gehalt an kohlensaurem Kalk erheblich fiel, ist der an Gips ge-

[1]) Ebendort 50. Es soll wohl m/kg heißen?

[2]) Ph. Schneider, Verh. Ges. deutsch. Naturf. Ärzte, 76. Versamml. Breslau 1904. **2** (1), 168 (1905).

[3]) Landw. Jahrb. **45**, 31, 32, 50 (1913). Nach D. Meyer, Landw. Jahrb. **29**, 994 (1900), ist bei einem durch Umsetzung mit 10% Chlorammoniumlösung festgestellten Kalkgehalt von 0,10—0,15% ein Boden kalkarm. A. Mausberg findet mit stärkerer, 15% Chlorammoniumlösung aber nur 0,148 % Kalk.

[4]) a. a. O. 38.

[5]) Über die englischen Beobachtungen ist von A. D. Hall offenbar ohne Kenntnis der etwa 25 Jahre vorher mitgeteilten deutschen Versuchsergebnisse E. Heidens berichtet worden, die den Rothamsteder Versuchen gegenüber Vorzüge wie Nachteile zeigen.

[6]) E. Heiden, Denkschr. 25jähr. Besteh. Pommritz (Hannover 1883) 151.

stiegen.[1]) Auch im wässerigen Auszuge weist das Ammoniumsulfatteilstück die höchsten Kalk- wie Schwefelsäuremengen auf.[2]) — W. Krüger konnte gleichfalls in größeren Versuchsreihen diese ihm freilich nicht bekannten Feststellungen E. Heidens bestätigen. Er fand bei Gefäßversuchen als Folge der Düngung mit schwefelsaurem Ammoniak weitgehende Vermehrung der löslichen Kalk- und Magnesiaverbindungen im Boden.[3]) — Alles demnach Beobachtungen, die sich an die Rothamsteder durchaus anschließen. Dementsprechend war aber bei dem Versuche E. Heidens neben einem mit gebranntem Kalk behandelten Teilstück das Ammoniumsulfatbeet in seiner physikalischen Beschaffenheit auch der allgemeinen Beobachtung nach am meisten günstig verändert,[4]) und ebenso war die wasserfassende Kraft und die Fähigkeit, das aufgenommene Wasser schnell wieder abzugeben, bei ihm ähnlich wie bei dem mit Ätzkalk gedüngten vor den übrigen am besten.[5]) E. Heiden nimmt denn auch keinen Anstand, zu erklären, daß das schwefelsaure Ammoniak die physikalischen Bodeneigenschaften wesentlich verbessert habe.[6])

War somit, wie wohl nun ausreichend gezeigt sein dürfte, die Beeinflussung der Bodenkolloide durch das schwefelsaure Ammoniak letzten Endes auch nur eine Kalkwirkung, die übrigens wohl mehr von dem im Boden entstandenen Kalksalpeter und daraus etwa gebildetem Kalziumbikarbonat, als vom Gips ausgegangen sein wird,[7]) so treten uns bei dem nun noch zu würdigenden Chilesalpeter wesentlich andere Verhältnisse entgegen.

cc) Chilesalpeter.

α. Krustenbildung und ähnliches.

Die physikalisch ungünstige Wirkung des Chilesalpeters auf den schwereren Erdboden ist bekannt.[8]) Es wird als Folge Krustenbildung, Aufreißen des Bodens in Spalten, schlechte Bearbeitbarkeit und ähnliches betont. So wird es sich darum handeln, zu prüfen, ob auch hier durch die Kolloidwirkungen eine ausreichende Erklärung geschaffen werden kann.

---

[1]) Ebenda 238. — [2]) Ebenda 135.

[3]) W. Krüger, Landw. Jahrb. **34**, 800—802 (1905).

[4]) E. Heiden, Denkschr. 25jähr. Besteh. Pommritz (Hannover 1883) 29 246, 267.

[5]) Ebenda 246 und 247.

[6]) Ebenda 297. — [7]) Vgl. oben besonders 568.

[8]) E. Heiden, Düngerlehre **2**, 576 (1887); F. Schindler, Pflanzenbau physiol. Grundl., allgem. Teil (1896) 239; E. Groß, Zeitschr. landw. Versuchswes. Österr. **6**, 81 (1903); W. Krüger, Landw. Jahrb. **34**, 783 (1905).

Chilesalpeter an sich wird, als Neutralsalz, das nur einwertige Ionen zu liefern vermag, keine erhebliche Wirkung auf die Bodenkolloide zu äußern vermögen. Allenfalls kämen ähnliche Folgen des Basenaustauschs gegen Kalk, wie sie oben für die Kalisalze erwähnt wurden, in Betracht.[1]) Doch kann der Chilesalpeter sich, ebenso wie die schon behandelten Bestandteile der Kalirohsalze, mit kohlensaurem Kalk im Boden unter Sodabildung umsetzen, wobei auch ähnliche Erscheinungen auftreten dürften, wie bei der oben besprochenen Wechselwirkung des Kochsalzes. Indes auch dies würde der doch meist verhältnismäßig geringen Mengen[2]) halber, in denen der Salpeter Verwendung findet, keine so merkbaren Nachteile mit sich bringen können; der bei dieser Umsetzung entstehende, leicht lösliche salpetersaure Kalk dürfte zudem auch noch in wesentlich stärkerer Weise der Sodawirkung Eintrag tun, als der sonst vielfach in Betracht kommende Gips. Wohl aber scheint zu beachten, daß nach unseren heutigen Kenntnissen der Chilesalpeter als sog. physiologisch basisches Düngesalz nicht restlos von der Pflanze aufgenommen wird,[3]) sondern einen größeren oder geringeren Teil seines Natrons im Boden zurückläßt,[4]) wo es als Soda auftritt, um nun als solches ganz erheblich auf den Boden einwirken zu können.

Daß in der Regel diese Erklärung für die ungünstigen Wirkungen des Natronsalpeters die richtige ist, beweisen bereits alte Mitteilungen von A. Mayer,[5]) der über „das mechanische Verderben tonreicher Bodenarten durch wiederholte und einseitige[6]) Chilesalpeterdüngung" schreibt, daß „ein in dieser Weise forcierter Boden bekanntlich im Anfang schöne Ernten gibt, dann aber einen plötzlichen Zurückgang zeigt, welcher sich nach dem Urteile gewiegter Praktiker nicht einfach wie beim Sand-

---

[1]) Vgl. oben 616 u. f.

[2]) Daß es dagegen bei verhältnismäßig sehr großen (1%) Salpetergaben eine Rolle spielen mag, geht wohl aus E. Blancks Versuchen und der dabei beobachteten, Aufschwemmungen bildenden Wirkungen des Salpeters hervor. Vgl. Landw. Jahrb. **38**, 866/67, 868 (1909).

[3]) Die Wirkungen des Pflanzenbaues auf die Bodenkolloide, die in einem folgenden Abschnitt zur Besprechung kommen, werden Gelegenheit geben, nochmals auf diese Fragen zurückzukommen.

[4]) Vgl. z. B. P. Ehrenberg, Landw. Versuchsstat. **69**, 260 (1908). Ebendort 288. Bezüglich der Natronaufnahme von Kartoffeln aus Chilesalpeter vgl. W. Schneidewind und D. Meyer, Landw. Jahrb. **33**, 339/40, (1904); ebendort auch 235, 351/2. Ferner W. Krüger, Landw. Jahrb. **34**, 787/88, 790/91, 792/94 (1905).

[5]) A. Mayer, Forsch. Geb. Agrikulturphysik **2**, 373 (1879).

[6]) Besonders die Unterlassung der Düngung mit sauren Superphosphaten und anderen sauer wirkenden Düngemitteln wird sich stark geltend machen.

boden durch eine allerseits vollständige Düngung wieder beheben läßt. Der Boden ist mechanisch für lange Zeit ruiniert." [1])

Deutlicher sind aber W. Krügers Beobachtungen an mit Chilesalpeter gedüngten und zum Teil mit Pflanzen bebauten, zum Teil aber unbestellt gebliebenen Gefäßen: Nur die mit Chilesalpeter gedüngten Gefäße, welche Pflanzen getragen hatten, zeigten „die Erscheinung schlechten Absetzens der Erde aus Lösungen und eine damit gepaart gehende ungünstige physikalische Veränderung des Bodens". [2]) — Abgesehen davon, daß wir hier eine weitere Bestätigung für die engen Beziehungen zwischen den Erscheinungen bei Bodenaufschwemmungen und dem Gefüge der Böden in natürlichem Zustande finden, zeigt sich klar, daß eben die wesentlich ungünstige Wirkung des Chilesalpeters davon abhängig war, daß die Pflanzen in der oben erwähnten Art und Weise Soda im Boden entstehen lassen. W. Krüger vermochte dies noch dadurch deutlicher zu machen, daß er unbestellte Gefäße mit Soda und Natriumhydroxyd gedüngt hatte, die nun ganz ähnliche Erscheinungen zeigten, wie die mit Natronsalpeter gedüngten und bestellten Böden; unbestellte Natronsalpetergefäße zeigten aber diese auffälligen Erscheinungen nicht. [3])

Wenn wir daher nun z. B. bei A. Mausbergs Untersuchungen bemerken, daß die mit Chilesalpeter gedüngten Teilstücke schlechteren Wasserabzug, [4]) also größere Bindigkeit [5]) des Bodens aufwiesen, ihre Lagerung äußerst dicht war, [6]) wenn für sie die höchste Zugkraft am Kultivator erforderlich wurde [7]) und die Schollenanalyse den höchsten „Klumpenanteil" ergab, [8]) wenn die im Laufe der Bestellungsarbeiten gemachten Erfahrungen für das Salpeterstück ergaben, daß es sehr dicht und verkrustet war, [9]) so wissen wir, daß hierfür die aus dem Chilesalpeter durch die Tätigkeit der Pflanzen im Boden zurückbleibenden oder auch in geringerem Umfange durch Kohlensäureausscheidung und Umsetzung mit Kalziumkarbonat gebildeten Sodamengen als Ursache anzusehen sind.

Daß auf die gleiche Weise die Wirkungen des Chilesalpeters hinsichtlich der Krustenbildungen zu erklären sein dürften, legt ja auch schon die Beobachtung E. Wollnys nahe, nach der nicht Chilesalpeter,

[1]) Ähnliche Erfahrungen auf einem durch längere einseitige Chilesalpeterdüngung in seiner Bodenbeschaffenheit stark geschädigten Gut machte nach freundlicher, mündlicher Mitteilung Herr Rittergutspächter E. Momber-Uhrsleben

[2]) W. Krüger, Landw. Jahrb. **34**, 783 (1905).

[3]) W. Krüger, a. a. O. 788.

[4]) A. Mausberg, Landw. Jahrb. **45**, 46 (1913).

[5]) Ebendort 47. — [6]) Ebendort 47. — [7]) Ebenda 50.

[8]) Ebenda 51. — [9]) Ebenda 55.

wohl aber Kalihydrat und Pottasche — die ebenfalls alkalisch reagierende Soda hätte sich natürlich ebenso verhalten — die Schwindung des Tons,[1]) seine „Kontraktion", wie sich E. Wollny ausdrückt, verstärkten.[2]) Die einzelnen Bodenteilchen legen sich also unter dem Einfluß der Hydroxylionen enger und fester aneinander.[3])

Um die Krustenbildung aber deutlich zu machen, dürfte noch auf einige anderen Umstände einzugehen sein.

Daß Alkalien, und Salze wie Natriumphosphat, die durch Hydrolyse freies Alkali entstehen lassen,[4]) statt einer fällenden Wirkung auf Bodentrübungen die Teilchen in ihrem feinsten Verteilungszustand ohne jede Neigung zur Absetzung verharren lassen, stellte A. D. Hall fest.[5]) — Übrigens fällen stärkere Mengen auch dieser Stoffe zuletzt, wie beiläufig in die Erinnerung gebracht sei. Für den Boden kommen sie aber unter natürlichen Verhältnissen kaum je in Betracht. — A. D. Hall beobachtete weiter, daß Quarzpulver, Eisenhydrat und Aluminiumhydrat in Wasser aufgerührt, wieder ausfallen, dagegen nach Zufügung einer Spur freien Alkalis in Aufschwemmung beharren.[6]) So wird schwach alkalische Reaktion im Erdboden vermutlich auch durch elektrische Ladung Kolloide wie Aufschwemmungen in Wasser verteilen oder schon bestehende Aufschwemmungen dauerhafter machen. Das Bodenwasser, das in der erwähnten Art und Weise durch Chilesalpeterdüngungen alkalisch geworden ist, wird demnach nicht klar sein, sondern von allerlei Bodenkolloiden und feinen Aufschwemmungen erfüllt. Tritt nun ein stärkerer Regen ein, so bringt dieser vermittelst des elektrolytarmen Regenwassers schon an sich durch Auswaschung der etwa noch flockenden Salze aus den oberen Bodenschichten bei schweren Böden die günstige Krümelstruktur zum Verschwinden und lagert die einzelnen Bodenteilchen, zum Teil auch seiner Prallwirkung halber, eng zusammen, wie das schon oben dargelegt werden konnte.[7]) Dann trocknet nach dem Regen Luft und Sonne den Boden ab und beginnt durch Kapillartätigkeit Wasser aus den tieferen Schichten emporzuziehen. Da nun das Bodenwasser, wenn es durch Chilesalpeterdüngung leicht alkalisch reagiert, nicht nur Salze gelöst enthält,

[1]) E. Wollny hat als solchen leider Kaolin benutzt.

[2]) E. Wollny, Forsch. Geb. Agrikulturphysik **20**, 21 (1897/98).

[3]) Vgl. auch noch Arbeiten Land.-Kammer Hannover **32**, 52 (1912).

[4]) Auch W. Krüger beobachtete, daß Alkaliphosphat und Alkalisilikat aufschlämmend auf Bodentrübungen wirkten, ohne die Hydrolyse als Ursache zu erkennen. Vgl. Landw. Jahrb. **34**, 793 (1905).

[5]) A. D. Hall, Soil (London 1908) 39.

[6]) A. D. Hall, a. a. O. 39. — [7]) Oben 227—231.

sondern auch Kolloide und Aufschwemmungen im Solzustand, so führt es auch diese mit empor und lagert sie beim Verdunsten zwischen den schon ohnehin in enger Lagerung befindlichen Teilchen der Bodenoberfläche ab. Dazu mag man bei W. Krüger vergleichen, wie die Schlämmwässer der alkalische Reaktion im Boden bedingenden Düngungen „stark moorig getrübt" waren,[1]) bzw. die Filtrate gelbtrüb bis schwarzbraun.[2]) Man weiß zudem ja, wie stark besonders Humusstoffe durch Alkali in Lösung gebracht werden.[3]) Es darf nicht wundernehmen, daß, ebenso wie bei der Auswaschung und Durchschlämmung unter dem Einfluß des Chilesalpeters, über die noch zu sprechen sein wird, feinste Teilchen und Bodenkolloide nach unten wandern, so auch unter der das Wasser im Boden nach oben lockenden Sonnen- und Windwirkung der entgegengesetzte Weg zurückgelegt wird, und unter dem Einfluß des aufschwemmenden Alkalis eine Ansammlung dieser Teilchen nach oben in die Oberfläche hinein zustande kommt.[4]) Hier tritt nun die nach E. Wollnys Versuchen schon erwähnte[5]) Förderung der Schwindung noch hinzu, so daß die Kruste an innerem Zusammenhalt und Festigkeit gewinnt. Fand doch E. Wollny auch weiter,[6]) daß die Zufuhr geringer Mengen von Kaliumhydroxyd und Kaliumkarbonat — die entsprechenden Mengen Natriumhydroxyd und Natriumkarbonat hätten natürlich entsprechend gewirkt — die absolute Festigkeit des Tons[7]) in lufttrockenem Zustande beträchtlich erhöht. Über die Wirkung von kohlensaurem Natrium, wie es also z. B. als Folge von Chilesalpeterdüngung entsteht, auf die Krustenbildung äußert sich W. Krüger[8]) noch folgendermaßen: „Auch eine Förderung der Krusten- und Kloßbildung scheint mit der Gegenwart von kohlensaurem Natrium im Boden im engsten Zusammenhang zu stehen, denn durch dieses Salz werden die feinsten Bodenteilchen in der Schwebe erhalten und bilden bei der verminderten Durchlässigkeit des Bodens, wenn das oberflächliche Wasser einzieht oder verdunstet, eine dichte

[1]) W. Krüger, Landw. Jahrb. **34**, 787 u. 792 (1905).

[2]) W. Krüger, a. a. O. 795.

[3]) Vgl. z. B. auch P. Ehrenberg, Landw. Versuchsstat. **72**, 116 (1910) und P. Ehrenberg und F. Bahr, Journ. Landw. **61**, 427 (1913).

[4]) Dazu auch F. F. Matenaers-H. W. Campbell, Anleit. zweckmäß. Bodenbearb., 2. Aufl. (Berlin 1909) 52. Auch H. Hessler nimmt an, daß die Verkrustung wesentlich an das Vorhandensein von Kolloidmassen geknüpft ist. Inauguraldissertation Gießen (1912) 17.

[5]) Vgl. vorige Seite.

[6]) E. Wollny, Forsch. Geb. Agrikulturphysik **12**, 233 (1889).

[7]) Leider ist nicht mit wirklichem Ton, sondern mit Kaolin gearbeitet worden.

[8]) W. Krüger, Landw. Jahrb. **34**, 797/8 (1905).

Schicht an der Bodenoberfläche." Die Oberfläche dieser Schicht war bei der Gegenwart von kohlensaurem Natrium, also von Soda, nach W. Krüger glänzend, während sie sonst matt erschien. Auch erwies sie sich ohne Salzzusatz oder bei Zusatz von Kochsalz zur aufgeschlämmten und abfiltrierten Bodenprobe als weit brüchiger, als bei Gegenwart von Soda. „Aber auch der unter der sich ablösenden Kruste befindliche Boden auf den Filtern ließ den Einfluß des kohlensauren Natriums erkennen, er war nach dem Eintrocknen bei einem Zusatz von 2,5 g kohlensaurem Natrium stark erhärtet (zementartig), eine Erscheinung, die also ferner eine Förderung der Kloßbildung[1]) bei Böden, in denen sich kohlensaures Natrium gebildet hat, wahrscheinlich erscheinen läßt."[2])

Mit der Verstärkung der Schwindung dieser Kruste tritt nun auch eine Vergrößerung der Gefahr ein, auf die bereits oben[3]) hingewiesen werden konnte, nämlich der Druckschädigung[4]) bei zarten, von der schrumpfenden Kruste umhüllten Pflanzenteilen.[5]) Daß meine Erklärung sich soweit auf dem richtigen Wege befindet, dürfte auch aus den Mitteln hervorgehen, welche man bislang gegen diese Schädigungen, die uns in Deutschland wohl am deutlichsten beim Wurzelbrand der Zuckerrüben[6]) entgegentreten, empfiehlt. Doch auch bei Roggen hat F. Holdefleiß z. B. in Schlesien ähnliche Krankheitserscheinungen beobachtet und ebenfalls auf Bodenzusammenschlämmen infolge von Kalkmangel, besonders aber durch Chilesalpeterdüngung und deren Folgen, zurückgeführt. Denn gleich behandelte Teilstücke ohne Chilesalpeter wiesen die Krankheit nicht auf.[7])

Als Heilmittel hat man nun an verschiedenen Orten mit Erfolg Kalksalze angewendet; so auf manchen Gütern in Schlesien Superphosphat,[8]) in der Provinz Sachsen Ätzkalk,[9]) aus Japan wird bei starken

---

[1]) Man vergleiche die Ergebnisse, welche A. Mausberg bei der Schollenanalyse der mit Chilesalpeter gedüngten Böden erhielt.

[2]) W. Krüger, Landw. Jahrb. **34**, 798 (1905). [3]) 213.

[4]) Auch M. Hollrung sieht in Druckschäden eine Ursache des Wurzelbrandes. Vgl. am weiter unten angegebenen Orte.

[5]) Über anderweitige Schäden durch Krustenbildung vgl. z. B. F. Schindler, Lehre v. Pflanzenbau, Allg. T. (1896) 240.

[6]) Damit soll die Bedeutung der verschiedenen pflanzlichen Krankheitserreger nicht abgeleugnet werden. Nur glaube ich ungünstige Bodenverhältnisse physikalischer Art als das häufig Ursächliche ansehen zu müssen, dem dann das Eindringen der pflanzlichen Schädiger folgt, wie man ja auch bei ansteckenden Erkrankungen des Menschen weiß, daß der völlig gesunde Körper vielfach leicht Widerstand leistet, der geschwächte aber erliegt.

[7]) F. Holdefleiß, Landwirt (1892) 215.

[8]) F. Holdefleiß, ebendort (1896) 87, 98.

[9]) M. Hollrung, Jahresber. Versuchsstat. f. Nematodenvertilg. **4**, 22 (1892).

Chilesalpeterdüngungen auch Gips empfohlen.[1]) Ein hervorragender Praktiker Schlesiens[2]) urteilte noch in neuester Zeit, daß man des Wurzelbrandes halber keine Rübe hochbekommen würde, wenn man nicht dazu übergegangen wäre, den Chilesalpeter stets mit 1½ dz Ätzkalk für den Morgen zusammen zu geben. Andere geben 4—5 dz kohlensauren Kalk als Kopfdünger, wie überhaupt die Meinung weit verbreitet ist, daß sich Wurzelbrand nun stets durch Kalk beseitigen lasse.[3]) Dabei wird es sich allerdings wohl auch wieder um einen Irrtum handeln. Zwar dürfte voraussichtlich, zumal auf Böden, die viel feine Teile enthalten, der Chilesalpeter in der oben besprochenen Weise wirken. Unter Umständen aber werden wohl auch ohne ihn die ungünstigen physikalischen Bodeneigenschaften bei Kalkmangel den Wurzelbrand verursachen,[4]) d. h. die Pflänzchen für das Eindringen der Krankheitserreger empfänglich machen. Und weiter dürften unzweifelhaft auch viele anderen ungünstigen Umstände, Nässe, Kälte, Dürre, tierische Angriffe, unzweckmäßige Düngungs- und Pflegemaßnahmen, vielleicht auch besonders große Zahl der Angreifer wegen stark infizierten Saatguts, zur Erkrankung der Pflänzchen führen. Dann aber muß natürlich Kalk ohne jede Wirkung auf das Auftreten des Wurzelbrandes bleiben, während er dort, wo Bodenverschlämmung und Krustenbildung die Krankheit herbeiführt, oft gute Dienste leisten mag, zumal wenn dafür gesorgt wird, daß sich bald und reichlich doppeltkohlensaurer Kalk im Boden zu bilden vermag. Freilich ist auch in diesem Falle immer noch die Möglichkeit vorhanden, daß ungünstige Witterungsverhältnisse den Nutzen einer Kalkgabe mehr oder weniger vereiteln, indem gerade zur gefährlichen Zeit ein starker Regenguß den löslichen Kalk aus den oberen Bodenschichten ausgewaschen hat,[5]) oder vielleicht durch Mißbrauch von Chilesalpeterdüngung bei schnell aufeinanderfolgendem Anbau von Rüben stärkere alkalische Reaktion im Boden entstanden ist.

[1]) T. Takeuchi, Bull. College Agrikult. Tokyo 7, 5.

[2]) Ökonomierat Dr. E. Bannert, Sitz. d. Dünger-Abt. Deutsch. Landw.-Ges., Berlin, 20. Oktober 1909.

[3]) Ebendort.

[4]) Vgl. z. B. G. Marek, Landwirt (1893) 167; H. Hollrung, Jahresber. Versuchsstat. Nematodenvertilg. 4, 22 (1892); dieser Forscher fand sechzehn Böden, die Wurzelbrand verursacht hatten, reich an abschlämmbaren Bestandteilen.

[5]) Es wird übrigens hoffentlich von seiten des agrikulturchemischen Instituts der Universität Göttingen versucht werden können, die Wirkungen, welche zumal das als Abfall der Kaliindustrie in großen Mengen verfügbare Chlormagnesium auf die Bodenkolloide äußern muß, auf ihren Wert für die Bekämpfung des Wurzelbrandes auf Feldern zu prüfen, wo Schäden der physikalischen Bodenbeschaffenheit als Grundursache erscheinen. Ebenso wird Chlorkalzium heranzu-

β) Durchschlämmung.

War bislang die Krustenbildung als Folge der Anwendung des Chilesalpeters und damit, wenn man so sagen darf, die „Verschlämmung feinster Teilchen nach oben“ [1]) unter dem Einfluß der Verdunstung an der Bodenoberfläche besprochen worden, so wird es sich nun um die Verschlämmung nach unten durch hinabwaschendes Regenwasser handeln. Sie muß im Gefolge der durch den Salpeter hervorgerufenen alkalischen Reaktion im Boden natürlich ganz besonders stark auftreten. Schon E. Blanck beobachtete ja bei seinen Versuchen, daß bei Anwendung von Chilesalpeter namhafte Mengen von feinen Teilchen durchgeschlämmt wurden.[2]) Besonders beachtungswert erscheinen aber die sorgfältigen Feststellungen von A. D. Hall,[3]) der bei mit Natronsalpeter längere Zeit gedüngten Böden in der Regel ganz außerordentliche Verluste an abschlämmbaren, feinsten Teilchen im Vergleich gegen entsprechend mit Chlorammonium oder Ammoniaksuperphosphat gedüngte, sowie ungedüngte Stücke beobachtete. Über die erzielten Werte sei, nachdem noch darauf hingewiesen ist, daß sie mit einer besonderen Vorbehandlung der Erdproben erzielt wurden, folgendes mitgeteilt:

Es wiesen Prozent „clay“,[4]) bei 100° getrocknet, auf:

Feld	Düng. m. Ammoniumsalz		Düng. m. Chilesalpeter		Ungedüngt
	und Mineralgemenge	und Superphosphat	und Mineralgemenge	und Superphosphat	
Barnfield 1903 . .	22,8	23,7	17,4	17,8	
Hoos potato 1903	20,3		19,2		
Hoos barley 1904		18,3		17,1	18,3
Broadbalk 1904 .	17,5		16,5		17,3

ziehen sein, das ja ebenfalls als Abfall vorkommt. Überhaupt soll der Einfluß, welchen Kaliendlaugen auf das Bodengefüge äußern, geprüft werden. Irgendwelchen Hoffnungen wird man aber erst nach dem etwaigen Vorliegen einwandfreier, günstiger Versuchsergebnisse Raum geben dürfen. Es wird nur gebeten, zunächst weiteren Mitteilungen, die allerdings infolge des Krieges erst in längerer Zeit zu erwarten sind, entgegenzusehen.

[1]) Dieser Ausdruck stammt vielleicht von F. F. Matenaers-H. W. Campbell.

[2]) E. Blanck, Landw. Jahrb. **38**, 867, 868 (1909). Vgl. dazu auch oben 486, Anmerkung 1.

[3]) A. D. Hall, Journ. Chemical Society, Transact. **85**, 964 (1904).

[4]) Feinste Teilchen mit weniger als 0,002 mm Durchmesser. Die Übersetzung „Ton“ würde ebensowenig wie „abschlämmbare Teile“ passen. Vielleicht könnte man unser niederdeutsches Wort Klay oder Klei benutzen. Atterberg und andere nennen diese Teilchen unter 0,002 mm Durchmesser „Rohton“.

Die Verluste des Bodens an feinsten Teilchen durch Chilesalpeterdüngung sind also ganz deutlich. A. D. Hall sagt: „Im ganzen macht dies Verhalten die physikalische Beseitigung der feinen Teilchen in dem mit Salpeter gedüngten Boden zur Gewißheit.“ Und daß diese Verluste in Beziehung zu der sonstigen ungünstigen Wirkung des Chilesalpeters auf den Boden stehen, erhellt auch daraus, daß die Unterschiede bei dem Rüben tragenden Barnfield, das jährlich mit nicht weniger als 625 kg für den Hektar an Chilesalpeter gedüngt wird, am auffälligsten sind. Trotz dieser Verluste an feinsten Teilchen zeigt der Boden doch immer noch unter dem Einfluß der Chilesalpeterwirkung, daß er nach Regen mehr Wasser zurückhält, lange feucht und schmierig bleibt und dann beim Austrocknen einen harten Kuchen bildet.

Noch zwei weitere Beobachtungen verstärken die Sicherheit, daß es sich hier tatsächlich um eine erheblich verstärkte Durchschlämmung feinster Teile in den Untergrund unter dem Einfluß des Chilesalpeters und der durch ihn bedingten alkalischen Reaktion im Boden handelt. Zunächst die Untersuchung des „clay“gehalts tieferer Schichten:

Das Broadbalkfeld 1904 wies Prozente „clay“ auf:

	bis 9 Zoll tief	10—18 Zoll tief	19—27 Zoll tief
bei einer Düngung mit Natronsalpeter und Mineralsalzen[1]) . . .	16,5%	30,2%	43,1%
bei einer Düngung mit Ammoniumsalz und Mineralsalzen	17,5%	29,2%	38,2%

Dem Verlust in der obersten Schicht entspricht also für das Salpeterteilstück eine Anreicherung in der Tiefe.

Weiter aber kommt auch das Verhalten der Dränwässer in Betracht. Es wurde in Rothamsted beobachtet, daß die Dränröhren unter den ungedüngten Feldern zuerst lange Jahre hindurch häufiger liefen, als unter den mit Natriumnitrat gedüngten. Als Folge der Zerstörung oder wenigstens Beeinträchtigung der Krümelstruktur infolge der Chilesalpeteranwendung erscheint dies auch durchaus einleuchtend, entspricht zudem völlig den von E. Blanck erzielten Ergebnissen.[2]) Dann aber machte sich in Rothamsted auf den Natronsalpeterstücken, „in dem Maße, als die Entflockung sich durchsetzte, indem sie die feinsten Teilchen aus

[1]) Gemisch von Kali- und Magnesiumsulfat.

[2]) E. Blanck, Landw. Jahrb. **38**, 866 (1909). Nach J. L. Beeson, Journ. Amer. Chem. Soc. **19**, 620 (1897), setzte Zugabe von $^1/_{10}$% Chilesalpeter den Wasserabfluß eines Bodens auf ein Zwanzigstel herab.

dem Boden in die Dränleitungen wusch, in den letzten zehn Jahren eine schnellere Durchdringung des Bodens mit Wasser bemerkbar" Es lief nicht nur die Entwässerung des Chilesalpeterstückes häufiger, als die andere, sondern es wurde auch — ähnlich wie bei E. Blanck[1]) — festgestellt, daß das aus dieser Leitung laufende Wasser merklich trüber war, als das der anderen Röhren. Die Zahl der Tage, an denen die Entwässerung lief, betrug für das Broadbalkfeld im Mittel fünfjähriger Perioden:

	fürs ganze Jahr[2])		nur für Dezember, Januar und Februar		weniger od. mehr für das Chilesalpeterstück
	ungedüngt	Chilesalpeter	ungedüngt	Chilesalpeter	
1866/67—1870/71 .	**43**	38	32	**35**	+3
1871/72—1875/76 .	**64**	53	**29**	27	—2
1876/77—1880/81 .	**111**	92	**44**	40	—4
1881/82—1885/86 .	**115**	87	**54**	46	—8
1886/87—1890/91 .	72	**77**	29	**32**	+3
1891/92—1895/96 .	98	**103**	46	**49**	+3
1896/97—1900/01 .	78	**120**	44	**71**	+27

Während also beim Beginn des Versuches das Chilesalpeterstück etwas durchlässiger für Wasser erschien, änderte sich dies bald unter dem ungünstigen Einfluß der fortgesetzten Salpeterdüngungen, der Boden wurde undurchlässiger. Die fortschreitende Schädigung durch die vom Salpeter verursachte alkalische Reaktion der Bodenlösung, die infolge Förderung der Bildung von Aufschwemmungen feiner Teilchen eine zunehmende Durchschlämmung der Bodenkolloide im weiteren Sinne veranlassen mußte, hat dann aber langsam den Boden an solchen verarmen und demnach wieder durchlässiger werden lassen.

Beobachtungen anderer Art, die indessen nach ganz der gleichen Richtung liegen, teilt R. Warington mit:[3]) „Auf einigen schweren Böden bedingt eine Kopfdüngung mit Natriumsalpeter eine merkbare Wirkung. Nach schwerem Regen beobachtet man, daß das Wasser auf solchen Böden in trüben Lachen steht, und nach seinem Verschwinden erscheint die Bodenoberfläche weiß und glänzend. Die zusammengesetzten Bodenteile sind tatsächlich zerstört, an der Oberfläche bleibt eine Schicht

[1]) Ebenda 867, 868.

[2]) Wegen der austrocknenden Wirkung der höheren Ernte der Salpeterstücke müssen nur die Wintermonate verwendet werden. Man vergleiche dazu auch C. v. Seelhorst, Journ. Landw. 49, 244 (1901).

[3]) R. Warington, Lect. some physic. propert. soil (Oxford 1900) 69.

feinen Sandes zurück, und der Ton liegt in verschlämmtem Zustand darunter." Also auch hier eine Ausschlämmung der Bodenkolloide, ein Zurückbleiben der gröberen Bodenteile. Was sich so im kleinen durch die Wirkung des Chilesalpeters in verhältnismäßig kurzer Zeit ergab, finden wir im großen bei der Bildung unserer sandigen Ackerkrumen wieder, wobei vielfach infolge seiner Entkalkung der Diluvialmergel der feinsten Teilchen, namentlich der mit der Zeit fortführbaren Tonteilchen beraubt worden ist, so daß eine Sandrinde, die heutige Ackerkrume, zurückblieb.[1])

So lernen wir zwei wichtige Wirkungen des Chilesalpeters bzw. der durch ihn bedingten alkalischen Reaktion der Bodenlösung kennen. Einmal, und zunächst bemerkbar, die Beeinträchtigung und unter Umständen Vernichtung des Krümelzustandes, verbunden mit Krustenbildung, und zweitens die Auswaschung der Bodenkolloide.

Daß auch unter anderen Umständen, wenn nämlich alkalische Reaktion im Boden hervorgerufen und nicht etwa irgendwie ausreichend entgegengewirkt wurde, eine Hinabwaschung der Bodenkolloide eintrat, lehrt uns eine gelegentliche Beobachtung C. v. Seelhorsts. Dieser schreibt[2]) über das sog. E-Feld des Göttinger Versuchsfeldes, daß von den acht Teilstücken die sämtlichen mit Kali gedüngten[3]) regelmäßig nach Regen zuerst abtrockneten, dann die mit Stickstoff in Form von Chilesalpeter gedüngten, zuletzt die übrigen. Eine Erklärung dafür hat C. v. Seelhorst trotz seiner dahingehenden Versuche nicht gefunden.[4])

Man mag dafür folgenden Erläuterungsversuch an der Hand der hier behandelten Feststellungen beachten: Die Kaliteilstücke haben lange Jahre hindurch ihr Kali als Pottasche erhalten, also als alkalisch reagierendes, kohlensaures Kali. Aller Wahrscheinlichkeit nach hat sich dadurch eine Auswaschung von Bodenkolloiden bei ihnen angebahnt, die eben die schnellere Abtrocknung hervorruft, weil die betreffenden Teilstücke sandiger geworden sind. Genau so, wie die Versuche in Rothamsted es

[1]) Vgl. G. Behrendt, Abhandl. geolog. Spezialkarte Preußen **2**, Heft 3, 73 (1877). S. weiter auch oben 179 ff.

[2]) C. v. Seelhorst, Journ. Landw. **49**, 231 (1901).

[3]) Das Kali wurde bis 1898 als Pottasche (K_2CO_3) gegeben, dann als schwefelsaures Kali. Wäre diese Änderung unterblieben, so würde der Versuch für unseren Zweck unzweifelhaft viel wertvoller geworden sein. Man sieht wieder, daß bei Dauerversuchen fast jede noch so wohlgemeinte Änderung durch einen neuen Versuchsleiter eine Verschlechterung wird, weil sie eben den „Dauer"-Versuch gegenstandslos macht. Die Rothamsteder Versuche wären nicht das, was sie sind, wenn man bei jeder neuen Erkenntnis daran Änderungen getroffen hätte.

[4]) Ebenda.

ergeben, findet sich dann noch ein besserer Wasserabzug des Wassers auf den mit Chilesalpeter gedüngten Stücken. Hier hat die alkalische Reaktion, welche der Salpeter bedingt, zwar nicht so stark, wie die Düngung mit kohlensaurem Kali, doch immerhin noch merkbar gewirkt. Soweit es sich aber um Beobachtungen während der Vegetationszeit bis zum Beginn des Winters gehandelt hat, muß allerdings bei den mit Chilesalpeter gedüngten Teilstücken die stärkere Wasserentnahme durch die stickstoffgedüngten, besser stehenden Pflanzen [1]) maßgebend gewirkt haben, was indessen bei den Kaliteilstücken wohl nicht derart in Betracht kommen kann.

Die Wassergehaltsbestimmungen, die C. v. Seelhorst auf den gleichen Teilstücken ausführen ließ, um die vorliegende Frage zu ergründen, sind wohl für die hier in Betracht kommenden, feinen Unterschiede nicht genau genug; [2]) zumal fehlen Parallelbestimmungen, die zur Beurteilung der Genauigkeit der Werte recht erwünscht wären, dann aber stammen die Proben aus einer Tiefe von 15—25 cm, [3]) die oberste Schicht, für die sich das Versinken des Wassers jeweils am deutlichsten kennzeichnen dürfte, ist also nicht mit berücksichtigt. So können sie nicht dazu dienen, meinen bei der Geringfügigkeit des Materials nur zu wenig gefestigten Schlüssen über die Beobachtungen auf dem Göttinger Versuchsfeld einen Prüfstein darzubieten. Immerhin mag aber auf dem von mir angegebenen Wege eine Erklärung für das eigenartige Verhalten der Kaliteilstücke gegeben sein, wo eine solche bisher überhaupt fehlte.

Zum Schluß sei hier noch auf sehr wichtige Beobachtungen F. Wohltmanns im Dauerdüngungsversuchsfelde zu Bonn-Poppelsdorf hingewiesen. Auf diesem von F. Wohltmann 1893 eingerichteten und während seines Wirkens dort nur mit Spatenkultur bearbeiteten schweren Lehmboden trat die Wirkung einer starken Kalkdüngung auf den Boden auch in der Weise in Erscheinung, daß die gekalkten Stücke deutlich höher wurden, als die benachbarten, ungekalkten Beete. Diese Erhöhung des Bodens durch Kalkdüngung war auf etwa 10 cm zu schätzen. Kochsalzdüngung und Chilesalpetergaben kennzeichneten sich umgekehrt durch Vertiefung der Beete. [4]) Wir können uns diese Erscheinungen durch verstärkte Krümelbildung im einen Fall, durch Zerstörung der Krümel, Zusammenfließen des Bodens und Auswaschung von Bodenkolloiden im anderen jetzt ohne besondere Mühe erklären.

[1]) Ebenda 244. — [2]) Ebenda 242. — [3]) Ebenda.

[4]) Nach mündlichen Angaben von Herrn Dr. Ph. Schneider, früherem Assistenten in Bonn-Poppelsdorf.

Auch erinnern wir uns, daß ähnlich wie hier Kochsalz und Chilesalpeter die Beete vertieft erscheinen ließ, so auf Alkaliländern die von Soda geschädigten Stellen sich als vertiefte Pockennarben in der Oberfläche des Landes kennzeichneten. — Leider ist, wie mir weiter berichtet wurde, mit dem Wechsel in der Leitung des fraglichen Versuchsfeldes an die Stelle der Spatenkultur die Benutzung des Pfluges getreten, und damit der Höhenunterschied zwischen den einzelnen Stücken erheblich verwischt worden.[1])

Damit wären die Wirkungen der Düngemittel auf die Bodenkolloide besprochen, soweit mir beachtenswerte Tatsachen bekannt geworden sind.[2])

D. Pflanzenbau.

Es bleibt mir im letzten Abschnitt der Einfluß unserer Kulturpflanzen auf die Bodenkolloide zu besprechen.

Dabei sei sogleich an die zuvor besprochene Entstehung von Soda als Folge einer Chilesalpeterdüngung angeknüpft.

1. Beeinflussung der Sodabildung.

Ich ging davon aus, daß die Pflanzen von einer Chilesalpetergabe zwar die Salpetersäure größtenteils aufnehmen, aber nicht so das ursprünglich daran gebundene Natron, so daß eine größere oder geringere Menge von Soda im Boden zurückbleibt.

Es liegt nun auf der Hand, daß, falls unsere Ackerpflanzen Unterschiede in der Aufnahmefähigkeit für Natron aufweisen, dies von maßgebendem Einfluß für die etwa im Anschluß an die Chilesalpeterdüngung auftretende Schädigung der physikalischen Bodeneigenschaften sein muß. Denn wenn nicht nur die Salpetersäure, sondern auch das Natron fast oder ganz restlos aufgenommen wird, so kann eine Sodabildung durch übrigbleibendes Natron eben keine Bedeutung gewinnen.

Und in der Tat weisen die verschiedenen Nutzpflanzen in dieser Richtung ganz wesentliche Unterschiede auf. Während z. B. infolge einer Natrondüngung Weizen ganz erhebliche Natronmengen aufnahm, war bei der Kartoffel auch dann die Mehraufnahme davon gegenüber den

[1]) Vgl. Anm. 3 auf Seite 634.

[2]) Daß auch Zink, das ja zweiwertige positive Ionen bildet und stark fällend wirken kann, unter Umständen einen günstigen Einfluß auf physikalisch wenig geeigneten Boden auszuüben vermag, konnte ich früher zeigen. Vgl. Landwirtschaftl. Versuchsstationen **72**, 40 (1910).

ungedüngten Pflanzen verschwindend.[1]) Ähnlich nennt auch A. Stutzer die Kartoffel „eine Pflanze, die mit dem Natron des Chilesalpeters nichts anzufangen weiß",[2]) H. Süchting fand bei einer Natrongabe von rund 4½ g auf das Versuchsgefäß im Chilesalpeter[3]) durch Kartoffeln eine Natronmehraufnahme im Betrage von nur 0,153 g.[4]) W. Schneidewind und D. Meyer beobachteten, daß der Natrongehalt der Kartoffeln durch Kochsalzdüngung gar nicht beeinflußt wurde,[5]) und weiter, daß im freien Lande die Natronaufnahme durch die Kartoffel noch geringer ausfiel, als in Vegetationsgefäßen, was ja nicht sonderlich überraschen kann. Ähnliche Werte hat W. Schneidewind mit D. Meyer und F. Münter noch später veröffentlicht.[6])

Bei dieser starken Abneigung der Kartoffel gegen die Natronaufnahme kann es denn auch nicht wundernehmen, wenn W. Krüger bei seinen Versuchen beobachtete, daß Chilesalpeter seine ungünstigen Wirkungen auf die physikalische Bodenbeschaffenheit am stärksten bei Anbau von Kartoffeln zu zeigen vermochte, was auch durch Zahlen über die in diesem Fall stattfindende Natronaufnahme zu belegen war.[7])

Ja, nicht nur die Kartoffel an sich zeigt eine so geringe Natronaufnahme gegenüber anderen, gleich zu besprechenden Kulturpflanzen, es bestehen aller Wahrscheinlichkeit nach sogar noch Sortenunterschiede in dieser Richtung; H. Süchting konnte wenigstens feststellen, daß auf die Düngung mit Natriumsalzen die Sorte Daber durch Mehraufnahme von Natron antwortete, dagegen Leo nicht.[8]) So würde sogar in dieser Richtung eine verschiedene Beeinflussung der Bodenkolloide durch die Kulturpflanzen bei Chilesalpeterdüngung möglich sein, indem bald mehr, bald weniger Soda im Boden auftritt.

Im Gegensatz zur Kartoffel nehmen die Rüben Natron sehr begierig auf. Dafür sei nur kurz W. Schneidewind mit D. Meyer[9]) erwähnt,

[1]) E. Haselhoff, Landw. Jahrb. **34**, 658 (1905). Der Weizen war sogar als abtragende Frucht ohne weitere Düngung nach den Kartoffeln gebaut worden. Einen zweiten, abweichende Ergebnisse bringenden älteren Versuch, a. a. O. 651, bezeichnet E. Haselhoff selbst als zweifelhaften Wertes (a. a. O. 647 Anmerkung).

[2]) A. Stutzer, Verh. Ges. deutsch. Naturf. u. Ärzte, Köln **2** (1), 129 (1909).

[3]) H. Süchting, Journ. Landw. **51**, 12 (1907).

[4]) Ebenda 29.

[5]) W. Schneidewind und D. Meyer Landw. Jahrb. **33**, 351 (1904).

[6]) W. Schneidewind, D. Meyer und F. Münter, Arbeit. Deutsch. Landw.-Ges. **193**, 7 (1911).

[7]) W. Krüger, Landw. Jahrb. **34**, 790 und 792/3 (1905).

[8]) H. Süchting, Landw. Versuchsstat. **61**, 448 (1905).

[9]) W. Schneidewind und D. Meyer, Landw. Jahrb. **33**, 351 (1904); Arbeit. Deutsch. Landw.-Ges. **193**, 19 (1911).

und dann auf die Versuche W. Krügers hingewiesen, die deutlich ergaben, daß die Rübe das Natron des ihr gereichten Salpeters ziemlich restlos aufgenommen hatte.[1]) Sonach ist die physikalische Schädigung des Bodens und seiner Kolloide durch Chilesalpeter bei Anbau von Rüben als wesentlich geringer zu erachten, wie bei Kartoffelbau. Doch wird es von Stärke und Zeit der Düngergaben, wie von anderen Umständen abhängen, ob und wie erheblich die zurückbleibende Sodamenge und damit die Beeinflussung der Bodenkolloide ist. Daß sie auch bei Rübenbau in nicht unerheblichem Umfange vorhanden sein kann, erwiesen ja die oben besprochenen Rothamsteder Versuche.

Zwischen diesen beiden, Grenzpunkte für die Aufnahme des Natrons darstellenden Pflanzen, zwischen Rübe und Kartoffel, werden sich nun unsere anderen Feldfrüchte eingliedern. Die Getreidearten dürften von einer Chilesalpeterdüngung immerhin noch bemerkbare Reste in Form von Soda im Boden zurücklassen, worauf W. Krügers Beobachtungen für Hafer und Gerste,[2]) Th. Pfeiffers Ermittelungen für Gerste[3]) hindeuten. Die oben wiedergegebenen[4]) Erfahrungen E. Haselhoffs ergeben gleiche Schlüsse für Weizen. Weißer Senf endlich läßt nach W. Krüger nicht wenig Soda aus einer Chilesalpeterdüngung im Boden zurück und verschlechtert dementsprechend dessen Beschaffenheit,[5]) nach B. Schulze[6]) nimmt er Natron nur langsam und weniger als Kali auf, während wieder Raps, Weizen und Roggen nicht so wirken.[7]) Es wird hier wohl noch eingehender weiterer Prüfung bedürfen, bis man diese Fragen gelöst hat, da die wechselseitige Beeinflussung der Bodensalze untereinander und die verschiedene Aufnahme derselben durch die Pflanzen manches verschleiern wird. Hier kam es nur darauf an, zu zeigen, daß auch der Pflanzenbau und im besonderen z. B. die angebaute Pflanzenart und Pflanzensorte bei Chilesalpeterdüngung einen wechselnden Einfluß auf die Bodenkolloide auszuüben vermöge.

[1]) W. Krüger, Landw. Jahrb. **34**, 790 (1905).

[2]) Ebendort 790 und 791 sowie 793. Die auffällige Erscheinung, daß bei Gerste und Hafer das im Boden verbleibende Natron des Chilesalpeters „keinen oder nur geringen Einfluß auf die Bodenbeschaffenheit ausübte", wäre vielleicht an der Hand der Kalk-, Phosphorsäure- und Schwefelsäure-, wie Chloraufnahme zu deuten. Doch fehlen darüber Analysendaten. Auch andere Umstände können eine Rolle gespielt haben.

[3]) Th. Pfeiffer, Mitteil. landw. Inst. Breslau **3**, Heft 4, 567.

[4]) Oben vorige Seite Anm. 1. — [5]) W. Krüger, a. a. O. 798 u. 790.

[6]) B. Schulze, Landw. Versuchsstat. **79**, 447 (1913).

[7]) W. Krüger, a. a. O. 793.

2. Hackfruchtbau.

Derartige direkte und indirekte Einflüsse werden auch sonst nicht selten und unbedeutend sein. Es führt uns dies in das Gebiet der Hackfrüchte und ihrer Wirkung auf die Bodenkolloide. Als günstig für diese können wir ja bereits die soeben festgestellte Tatsache ansehen, daß die stark chilesalpetergedüngten Rüben geneigt sein werden, für den Zentner ausgestreuten Chilesalpeter in der Regel viel weniger Soda im Boden zurückzulassen, als die weniger hoch gedüngten Kartoffeln. Wir sehen hierin eine maßgebende Ursache für den Vorrang, den Ammoniaksalze in vielen Fällen bei der Kartoffeldüngung aufweisen.

Die günstigen Wirkungen des Hackfruchtbaues auf die Bodenkolloide und so auf die physikalische Beschaffenheit unserer Äcker werden aber sehr viel weitergehende Behandlung verlangen.

Zunächst verdient es wohl Beachtung, daß unsere Hackfrüchte wesentlich die Stalldüngerverbraucher in der Wirtschaft sind. Alles, was also oben über den günstigen Einfluß des Stalldüngers gesagt wurde, besonders die lösende Wirkung der in größeren Mengen entstehenden Kohlensäure auf den Kalk des Bodens, ebenso die Bildung von Salpetersäure, welche gleiche Wirkung ausübt, muß damit auch bei der Deutung der Erfolge des Hackfruchtbaues für die physikalische Beschaffenheit unserer Äcker berücksichtigt werden.

Aber auch noch in anderer Richtung fördern die Hackfrüchte die Lösung des Kalkes im Boden und damit das Eintreten des ausflockenden $Ca^{\cdot\cdot}$-Ions in das Bodenwasser: durch ihre starke Kohlensäureausscheidung. Experimentell ist für die Kartoffel von J. Wilms,[1] für die Rübe von mir[2] erwiesen worden, daß beide Pflanzen infolge der großen Mengen lebender Pflanzenteile, die sie unter der Erde anhäufen, bei mangelnder Durchlüftung in kurzer Zeit Schaden leiden bzw. durch Sauerstoffmangel erkranken. Da starker Sauerstoffverbrauch ja aber natürlich starker Kohlensäurebildung entspricht, so darf man durchaus behaupten, daß gerade unsere Hackfrüchte, sobald sie größere Knollen- beziehungsweise Wurzelmassen auszubilden beginnen, allen anderen Feldfrüchten weitaus in der Kohlensäurebildung im Boden voranstehen.[3]

Dieser erhöhten Kohlensäurebildung wird selbstverständlich eine

[1]) J. Wilms, Journ. Landw. **47**, 261 (1899).

[2]) P. Ehrenberg, Zeitschr. Pflanzenkrankh. **16**, 193 (1905).

[3]) Über die Möglichkeit einer direkten Einwirkung reichlicher Kohlensäuremengen auf die Pflanzen vgl. H. Fischer, Fühlings Landw. Ztg. **65**, 233 (1916).

stärkere Lösung von Kalk[1]) im Boden entsprechen, und zwar gerade zu der Zeit, gegen Mitte des Sommers und Herbst, wo die vor der Bestellung verabfolgten Stalldüngergaben nicht mehr in größerem Umfange Kohlensäure bilden dürften, zu einer Zeit, in der unsere Getreidearten bereits den Acker zu räumen beginnen. So wäre hier ein weiterer Grund für den günstigen Bodenzustand nach Hackfrüchten zu erkennen. Keine anderen unserer Feldfrüchte, weder Leguminosen oder Getreidearten noch die Ölfrüchte können derart wirken, wenn gewiß auch unter ihnen noch kleine Unterschiede vorkommen werden. Allerdings würde, um hier deutlich urteilen zu können, noch die Aufnahme von Kalk aus dem Boden seitens der Hackfrüchte gegenüber den übrigen Ackerpflanzen in Rechnung zu setzen sein. Nach Th. Remys Aufstellungen,[2]) die sehr zum Unterschied von zahlreichen anderen statistischen Ermittelungen dankenswerterweise auch den Pflanzennährstoff Kalk berücksichtigen, entnimmt von den Hackfrüchten auf den Hektar für eine

Ernte von	die	an CaO
200 dz Knollen mit Laub, Wurzeln usw.	Kartoffel	63 kg
400 dz Rüben mit Laub, Wurzeln usw.	Zuckerrübe	92,4 ,,
800 dz Rüben mit Laub, Wurzeln usw.	Runkelrübe	54 ,,
600 dz Rüben mit Laub, Wurzeln usw.	Futterkohlrübe	145,2 ,,
500 dz Rüben mit Laub, Wurzeln usw.	Futtermohrrübe	180 ,,
600 dz Rüben mit Laub, Wurzeln usw.	Wasserrübe	61,2 ,,
500 dz Köpfe mit Blättern, Strunken, Wurzeln usw. .	Kopfsalatpflanze	143 ,,
30 dz Knäueln mit Stroh, Mutterrüben, Wurzeln usw.	Samenrübe	84,9 ,,
dagegen für		
30 dz Körner mit Stroh und allen Ernterückständen .	der vier Hauptgetreidearten ungefähr	17 ,, bis 27 ,,
60 dz Heu mit allen Rückständen	von Rotklee	169 ,,

Wenn demnach die Hackfrüchte mehr Kalk in Lösung zu bringen vermögen, so nehmen sie auch mehr davon auf.[3]) Wichtig würde es nun sein, die Konzentration des Kalks in der Bodenlösung während des Wachstums unserer Hackfrüchte zu kennen. Doch dafür fehlt es uns leider noch an allen Unterlagen. Immerhin ist es unter der Voraussetzung genügenden Kalkvorrats im Boden wahrscheinlich, daß zumal bei den drei Haupt-

[1]) Wie immer bei diesen Betrachtungen rechnet unter „Kalk" auch die Magnesia usw

[2]) Th. Remy, Kartoffelbau (Berlin 1909) 65/69. Vgl. auch Th. W. Tschirikow, Journ. exp. Ldw. **15**, 64 (1914).

[3]) Vgl. auch W. Krüger, Landw. Jahrb. **34**, 803 (1905) u. J. G. Maschhaupt, Versl. Landbouwk Onderzoek. Rykslandbouwproefstat. **12**, Sonderdruck 15 (1912).

hackfrüchten, der Kartoffel, der Zucker- und der Futterrübe die durch die Atmungskohlensäure der Wurzeln in Lösung gebrachte Kalkmenge die von den Pflanzen aufgenommene ganz erheblich, und um ein Vielfaches übertrifft. Denn nach P. Kossowitsch schied eine nur wenig CO_2 abgebende Pflanze, der weiße Senf, in 75 Tagen, vom 18. Tag nach der Aussaat an gerechnet, auf den Hektar 2250 kg CO_2 aus.[1]) Wesentlich mehr gibt schon die Gerste ab, während der Hafer diese, der Buchweizen den Hafer ganz erheblich übertrifft.[2]) Doch stehen Rüben und Kartoffeln auch dem Buchweizen noch weit voran, und werden wohl mindestens das Dreifache der Kohlensäuremenge des Senfs ausscheiden, vielleicht auch noch weit mehr. Die gegebenenfalls als Kalziumbikarbonat in Lösung gehende Menge Kalk wird demnach so groß sein können, daß, soweit man wenigstens auf Grund der bisher vorhandenen Kenntnisse zu urteilen vermag, die Entnahme von Kalk aus der Bodenlösung durch die Pflanzen dagegen gar keine Rolle spielt.[3])

Die Erschöpfung des Wasservorrats im Boden kann gleichfalls nicht ohne Wichtigkeit für die Gestaltung der Kolloidvorgänge im Acker-, Wiesen- oder Waldlande sein. Da ist es nicht ohne erhebliche Bedeutung, daß nach den wertvollen Arbeiten C. v. Seelhorsts z. B. Roggen, Weizen und Gerste nicht sowohl einen wesentlich geringeren Wasserverbrauch[4]) als die beiden Hackfrüchte aufweisen,[5])[6]) sondern sich vielmehr von ihnen durch die anders gelegene Zeit ihres hauptsächlichsten Wasserbedarfs unterscheiden, der bei Rüben wie Kartoffeln erheblich später im Jahre eintritt.[7]) Demnach würde der Boden einen großen Teil der Vegetationszeit hindurch unter Hackfrüchten feuchter sein und so vielleicht auch günstigere Gelegenheit für mancherlei Kolloidumsetzungen geben. Auch könnte der Wassergehalt in den verschiedenen Bodenschichten in wechselndem Maße

---

[1]) P. Kossowitsch, Journ. exp. Ldw. **5**, 497/99 (1904).

[2]) Vgl. unten 655 u. f.

[3]) Maschhaupt, der a. a. O. 13/14 andere Ergebnisse erhielt, hatte wohl nicht ausreichend leichter löslichen Kalk im Boden seiner Gefäße. Bei Krüger war dies wohl auch der Fall, a. a. O. 801, doch trat hier die Magnesia für den Kalk ein.

[4]) Einen Vergleich einer ganzen Reihe landwirtschaftlicher Kulturpflanzen in bezug auf ihren Wasserverbrauch gibt C. v. Seelhorst im Journ. f. Landw. **59**, 274/5 und 276/77 (1910).

[5]) Obwohl die Ergebnisse, da umfangreiche Parallelbestimmungen wohl der Unkosten halber leider fehlen, in dieser Richtung nicht ganz schlüssig sind. Gelegentlich vorkommende Parallelbestimmungen weisen, z. B. Journ. f. Landw. **53**, 254 (1905), Unterschiede im Wasserverbrauch von etwa 6% des Mittels auf.

[6]) C. v. Seelhorst, Journ. f. Landw. **54**, 329 (1906) und **56**, 196/7 (1908).

[7]) Ebendort **54**, Tafel 18 und **56**, Tafel 12.

beansprucht werden, und so voneinander abweichende Wirkungen bedingen. Doch wird man eingehende Untersuchungen in dieser Richtung abzuwarten haben, bevor Genaueres gesagt werden kann. Jedenfalls scheint bei den Hackfrüchten nicht, wie man das vielleicht ohne weiteres anderen Kulturpflanzen gegenüber annehmen möchte, die Austrocknung des Bodens für die günstige Gestaltung der Bodenkolloidumsetzungen und die physikalische Besserung des Landes eine Rolle zu spielen.

Dagegen wird die Pflegemaßnahme, welcher die Hackfrüchte ja ihre Bezeichnung verdanken, größere Bedeutung verdienen. Wahrscheinlich weniger im Sinne der Verhütung von Austrocknung durch das Hacken. Diese scheint ja nach C. v. Seelhorst kaum bedeutungsvoll zu sein.[1]) Und das eigentliche Anhäufeln, die Kultur in Dämmen, wie sie weniger für die Rübe als für die Kartoffel in Betracht kommt, wird von E. Wollny gerade für Böden, die leicht austrocknen, nicht empfohlen.[2]) Ähnlich äußern sich F. Schindler[3]) und Schleh-Herford.[4])

Wohl aber wird in anderer Richtung, in bezug auf die Herstellung der Bodengare, die Behäufelung und auch wohl das bloße, gründliche und häufige Behacken Bedeutung besitzen. Betrachten wir die Verhältnisse zunächst bei der Behäufelungskultur der Kartoffel, wo sie sich wohl am deutlichsten zu erkennen geben:

Schon vor dem Aufgehen der Pflanzen setzt vielfach die Anhäufelung ein. Das Land wird in Kämme gelegt, die fraglos, wie auch E. Wollnys Beobachtungen erweisen,[5]) dem Austrocknen stärker unterworfen sind, als der übrige Erdboden. Dadurch mag hier eine Beeinflussung der Kolloide bereits stattfinden, indem Austrocknen und Wiederbefeuchtung in häufigem Wechsel den Boden in Krümelstruktur bringen. Das ist ja von verschiedenen Seiten beobachtet[6]) und auch durch das Zerfallen der Erdklumpen infolge von verschieden starkem Quellen und Schwinden einzelner Stellen ganz gut zu erklären. Wie Staubsand durch Benetzen und Wiederaustrocknen sich lockerer lagert, schildert schon W. Schumacher recht deutlich.[7]) Dient doch in den Tropen der häufige Wechsel

---

[1]) C. v. Seelhorst, Journ. Landw. **53**, 255 (1905). Endgültig ist dies Ergebnis wohl noch nicht.

[2]) E. Wollny, Saat u. Pflege landw. Kultpfl. (1885) 740, 756, 764, 798.

[3]) F. Schindler, Lehre v. Pflanzenbau, allg. T. (1896) 267.

[4]) Schleh-Herford, Deutsch. Landw. Presse (1883) 288.

[5]) E. Wollny, Forsch. Geb. Agrikulturphysik **3**, 147 (1880); ebenso Journ. Landw. **33**, 84 ff. (1885).

[6]) z. B. A. D. Hall, Soil (1908) 39 ff.; E. W. Hilgard, Soils (Neuyork 1907), 118; R. Warington, Lect. some physic. propert. soil (Oxford 1900) 36, 39.

[7]) Vgl. am unten angegebenen Ort 17/18.

von Trockenheit und Feuchtigkeit vorwiegend dazu, schweren Boden in Krümelstruktur zu bringen, wie dies Suringar[1]), und A. Mitscherlich[2]) nach J. D. Kobus, erwähnen. Der Letztgenannte berichtet sogar von einer Überführung strengsten Tonbodens in Krümelstruktur durch Aufhäufen desselben in Furchen bzw. Dämmen.

Von Erdklumpen, die, in Einzelkornstruktur befindlich, beim Behäufeln der Kartoffeln mit der Furche aufgeworfen sind, wird schon durch Austrocknen, Wiederquellen und Schwinden Teilchen nach Teilchen außen sich ablösen und hinabrollen. So häuft sich auf dem Grunde der Furche eine lockere Bodenschicht an, die auch wieder von neuem, herabrollenden Boden überdeckt wird. In ihr wird es nun, wie das bereits erwähnt wurde, durch vom Bodenwasser aus höheren Stellen hinabgenommene oder auch bei der Verdunstung kapillar emporgeführte Bodenkolloide, wie ebenso durch sich ausscheidenden kohlensauren Kalk zu einer Verklebung und Vereinigung der Einzelteile zu Krümeln kommen. Auch das Niederschlagswasser läuft zu einem großen Teil an der Seite der Dämme hernieder[3]) und nimmt dabei von hier aufgeschwemmte und gelöste Bodenkolloide mit sich nach dem Grund der Furche hinab,[4]) wo es später zur Ausflockung und Krümelbildung kommt. Eine Auswaschung oder Durchschlämmung in den Dämmen wird nicht so leicht eintreten, wie in eben liegendem Lande, was natürlich ebenfalls auf ein günstiges Bodengefüge hinwirken muß.

Da nun durch gelegentliches Abeggen die feine Erde in die Tiefe gerüttelt, die noch vorhandenen gröberen Klöße aber zerteilt und oben frei gelegt werden, so schreitet noch im Frühjahr die Gare des Bodens weiter vor. Dann kommt das häufigere, kreuz- und quer durchgeführte Behäufeln, das immer wieder neue Erde emporbringt und sie der Witterung und dem Hinabrollen oder Hinabgespültwerden in die Furchen aussetzt. Da gleichzeitig die Kohlensäurebildung durch die wachsenden Knollen, und aus der zumeist verabfolgten Stalldüngergabe ihren schon erwähnten, kalklösenden Einfluß ausübt, und an den allein der Bearbeitung unzugänglichen Pflanzstellen der Kartoffeln die starke Knollenbildung den Boden etwas auseinandertreibt[5]) und außerdem mit Kohlen-

[1]) Zit. nach J. Behrens, Mitteil. Deutsch. Landw.-Ges. (1904) 182.

[2]) A. Mitscherlich, Bodenkunde, 2. Aufl. (Berlin 1913) 233.

[3]) E. Wollny, Forsch. Geb. Agrikulturphysik **3**, 149 (1880).

[4]) Dazu vgl. W. Schumacher, Ackerbau (Wien 1874) 189.

[5]) A. Mitscherlich, Fühlings landw. Ztg. **58**, 386 ff. Übrigens ein Vorgang, über dessen energetische Bedeutung für die Pflanze die Ansichten auch heute noch recht verschieden sind, vgl. A. Mitscherlich, Bodenkunde, 1. Aufl. (Berlin 1905) 127; dgl. 2. Aufl. (Berlin 1913) 105; P. Ehrenberg, Fühlings landw. Ztg. **59**, 12 (1910); A. Mitscherlich, ebenda 266; P. Ehrenberg, ebenda 267.

säure reichlich durchsetzt, so wird wenigstens in den oberen Bodenschichten eine der Brachebearbeitung nahe kommende Gare erzielt werden müssen. Es kommt hinzu, daß bereits W. Schumacher[1]) und nach ihm E. Wollny darauf hinwiesen, daß in Dämmen oder Kämmen niedergelegter Boden seine gute Struktur nicht so schnell verlieren wird, wie eben liegendes Land,[2]) da, wie bereits oben erwähnt werden konnte, Auswaschung flockungserhaltender Salze ebenso wie Durchschlämmung von Bodenkolloiden weit weniger in Betracht kommen kann; läuft doch eben sehr viel Regenwasser seitlich von den Kämmen ab und kann nun seine schädlichen Wirkungen nur an der auf dem Grunde der Furchen belegenen Erde ausüben; diese wird aber bei der nächsten Behäufelung wieder an den Dämmen emporgebracht. Bei der Rübe wird das häufige Hacken ähnlich, wenn auch nicht so stark wirken; gelegentlich wird ja auch diese Hackfrucht ebenfalls angehäufelt, wenn auch wohl nie annähernd so stark, wie die Kartoffel.

Als letzter Grund, der die bessere physikalische Bodenbeschaffenheit nach Hackfrüchten[3]) erklären mag, sei außer dem reichlichen Gebrauch von Phosphorsäuredüngemitteln zu diesen Früchten, wodurch stets mehr oder minder große Mengen leichter löslicher Kalksalze, und zum Teil auch alkalische Reaktion abstumpfendes Wasserstoffion in den Boden kommen, noch der bessere Schutz erwähnt, den die Blätter besonders der Rüben, aber auch der Kartoffeln gegen den Regenanschlag auf den Erdboden darbieten, sobald sie sich einigermaßen schließen, und sogar schon vorher. Weitaus länger als das Getreide bedecken sie den Boden, ihn so vor dem direkten Aufprall des Regens behütend. Und auch an sich wird das sich breit auslegende Blatt der Rübe gewiß, die vielverzweigte, auch mit horizontalen Blättern besetzte Kartoffelstaude wahrscheinlich erheblich mehr als das Getreide geeignet sein, dem Boden Schutz vor auftreffendem Regen zu bieten.[4]) So dürfte die Wirkung der Hackfrüchte auf die Bodenkolloide in großen Umrissen ihre Erklärung gefunden haben und auch die häufig nach ihnen beobachtete physikalische Besserung der Bodeneigenschaften verständlicher geworden sein. Daß in dieser Richtung eine etwa zu Rüben ausgeführte Tiefkultur oder Untergrundlockerung natürlich auch physikalisch bzw. auf die Bodenkolloide wirkt, ergibt sich aus dem oben über die Pflugwirkung Gesagten.

[1]) W. Schumacher, Ackerbau (Wien 1874) 188.

[2]) E. Wollny, Forsch. Geb. Agrikulturphysik **3**, 149 (1880).

[3]) Außer natürlich, wo Chilesalpeter oder Kalirohsalze schädigten oder andere nachteilige Wirkungen in Frage kamen.

[4]) Auch E. v. Benkovich, Fühlings landw. Ztg. **26**, 568 (1877).

3. Schattengare.

Der letzte Punkt der soeben beendeten Besprechung, der Schutz vor dem Auftreffen des Regens, ist absichtlich nur kurz gestreift worden, weil er in dem jetzt folgenden Abschnitt, den ich der Behandlung der sog. „Schattengare" widmen muß, eingehende Berücksichtigung findet. Das Vorhandensein dieser „Schattengare" ist wohl stets, soweit darin eine selbsttätige Lockerung des Bodens erblickt werden sollte, ebenso scharf von den landwirtschaftlichen Theoretikern bekämpft worden, wie die Praktiker zähe am Glauben daran festhielten. Von meinen eigenen Erfahrungen abgesehen — mir wurde von tüchtigen Praktikern im Osten mehrfach die Schattengare z. B. nach Serradella, die in Roggen eingesät war, gerühmt, und ich habe früher dann stets dagegen Stellung nehmen zu müssen geglaubt — sei hier als Beispiel erwähnt, daß E. Wollny die Schattengare nur so weit als vorhanden anerkennt, als durch den Pflanzenbestand eines Bodens die den Boden zusammendrückende und verschlämmende Regenwirkung hintangehalten oder wenigstens abgeschwächt werde.[1]) Bei dem Interesse, das uns dieser Gegenstand noch bieten muß, sei E. Wollnys Ansicht wörtlich angeführt. Wir werden dadurch mitten in die strittige Frage hineinversetzt werden:[2]) „Gleichergestalt entsprechen die Ansichten über die sog. ‚Beschattungsgare' nicht den tatsächlichen Verhältnissen. Indem man nämlich von der irrtümlichen Auffassung ausging, daß die Pflanzendecke die Ackererde feucht erhalte, glaubte man hieraus die Schlußfolgerung ableiten zu dürfen, daß nunmehr die Zersetzung der organischen Stoffe in dem bebauten Lande besonders gefördert und damit der Selbstlockerung des Erdreiches Vorschub geleistet werde. Wie oben gezeigt wurde, machen sich in Wirklichkeit gerade die entgegengesetzten Erscheinungen geltend, indem infolge der Austrocknung des Bodens durch die Gewächse im Verein mit der niedrigen Temperatur die Intensität der organischen Prozesse im Boden bedeutend herabgedrückt wird. Wenn es überhaupt möglich wäre, könnte also der lockere Zustand des Bodens unter einer dichten Pflanzendecke nicht durch eine ‚Gärung' hervorgerufen werden. Eine Zunahme des Lockerheitsgrades des Bodens unter den Pflanzen wird überhaupt nicht konstatiert werden können, sondern nur eine Erhaltung desselben in mehr oder minderem Grade. Sowohl in dem durch Pflanzen beschatteten, wie in dem brachliegenden Boden vermindert sich der bei der mechanischen Bearbeitung vor der Saat hervorgebrachte Lockerheitszustand,

---

[1]) E. Wollny, Österr. landw. Wochenblatt 1, 163 (1875).

[2]) E. Wollny, Zersetz. organ. Stoffe (Heidelberg 1897) 292.

im ersteren Fall jedoch bei weitem nicht in dem Maße wie im letzteren, und um so weniger, je üppiger sich die Pflanzen entwickelt haben und je dichter sie stehen. Die Ursache dieser Erscheinung ist darauf zurückzuführen, daß durch die Pflanzendecke die eine Zerstörung der Struktur veranlassenden Wirkungen der atmosphärischen Niederschläge wesentlich abgeschwächt werden. Das zunächst auf die Pflanzen niederfallende Wasser tröpfelt von diesen mit verminderter Kraft auf den Boden, während die Niederschläge auf das unbedeckte Land direkt einwirken, eine Lostrennung der Teilchen in den Krümeln und schließlich eine Verdichtung der Bodenmasse bewirken. Außerdem hält sich das Wasser länger an den Pflanzen, ehe es zum Boden gelangt, wodurch das Aufweichen und Auseinanderfallen der Erdbröckchen verzögert wird. Von einer durch die Pflanzen veranlaßten Gärung und einer damit verknüpften Auflockerung des Bodens (Beschattungsgare) kann nach alledem keine Rede sein, sondern nur von einer Erhaltung des ursprünglichen günstigen mechanischen Zustandes der Ackererde infolge des durch die Pflanzendecke der letzteren gewährten Schutzes gegenüber den die Struktur zerstörenden Einflüssen der atmosphärischen Niederschläge." Soweit E. Wollny. Auch ein sonst gewiß nicht übermäßig von grauer Theorie angekränkelter landwirtschaftlicher Schriftsteller, wie H. Droop, bezeichnet die Beschattungsgare als „nur eine scheinbare".[1] Dagegen hat A. v. Rosenberg-Lipinski[2] und nach ihm viele andere scharf beobachtenden Praktiker eine Selbstlockerung des Bodens bei der Schattengare vertreten, so u. a. noch Schultz-Lupitz[3] und W. von Laer.[3] — Die Stellungnahme wird für mich nicht ganz einfach sein, da nach meiner jetzigen Ansicht beide Teile Wahres und Falsches durcheinanderwerfen.

Zunächst hat E. Wollny, das weiß man heute ja durch A. Vogels,[4] E. Wollnys[5] und C. v. Seelhorsts[6] Untersuchungen genau, durchaus recht, wenn er A. v. Rosenberg-Lipinski gegenüber betont, daß von Pflanzen bestandener Boden in stärkerem Maße austrockene, als nacktes

[1] H. Droop, Brache i. d. mod. Landwirtsch. (1900) 168.

[2] A. v. Rosenberg-Lipinski, Prakt. Ackerbau **2**, 12, 26, 438/9, 442, 541 u. f. (1879).

[3] Zit. nach H. Droop, a. a. O. 168. Vgl. auch: W. v. Laer, Ackergare, Brache usw. (Münster 1862).

[4] A. Vogel, Sitzungsber. Bayr. Akad. Wiss., München, Mathem. physikal. Klasse **10**, 333 (1870); **8**, 544 (1878).

[5] E. Wollny, Forsch. Geb. Agrikulturphysik **6**, 197 ff. (1883); **10**, 261 ff. (1887); **12**, 1 ff. (1889).

[6] C. v. Seelhorst, Journ. Landw., vgl. die **59**, 259 ff. (1911) angegebenen Arbeiten und dann auch ebendort 276/77.

Erdreich. Und da, wie ich schon weiter oben bei Besprechung der Bodengare betonen konnte, die Gare durchaus nicht die direkte Folge einer Gärung im Boden ist, so ist damit die Erklärung A. v. Rosenberg-Lipinskis für die Schattengare als falsch erwiesen.

Auch weiterhin sind E. Wollnys Ansichten begründet, wenn er den Schutz vor dem Regen, welchen die auf dem Lande wachsenden Pflanzen dem Boden bieten, für dessen Gefüge ziemlich hoch veranschlagt. Als Beweis sind zunächst seine eigenen Untersuchungen heranzuziehen, bei denen[1]) er z. B. fand, daß die Zusammenlagerung der Erde bei mit lockerem, humosem Boden gefüllten Gefäßen in der Zeit vom 1. Mai bis 12. September betrug

bei	0		Haferpflanzen	auf	dem	Quadratmeter:	6,3 cm	oder	12,8%
,,	3	ungedüngten	,,	,,	,,	,,	4,5 ,,	,,	9,2%
,,	6	,,	,,	,,	,,	,,	3,4 ,,	,,	6,9%
,,	12	,,	,,	,,	,,	,,	3,0 ,,	,,	6,1%
,,	12	gedüngten	,,	,,	,,	,,	2,6 ,,	,,	5,3%
,,	24	ungedüngten	,,	,,	,,	,,	2,4 ,,	,,	4,9%

Je geringer also der Schutz durch die Stärke des Pflanzenbestandes, um so größer das Zusammensinken des Bodens.[2])

Es ist jedoch nicht das Zusammensinken allein, das der Regenschutz durch die Pflanzen vermindert. Hier sind die Untersuchungen A. D. Halls in Rothamsted sehr wichtig, auf die ich bereits oben zurückgreifen konnte. A. D. Hall hatte, wie man sich erinnern wird, für alle Felder bei Anwendung von Chilesalpeter in dem alkalisch gewordenen Boden zum Teil ganz erhebliche Verluste an feinsten Bodenteilchen infolge von Durchschlämmen durch den Regen festgestellt.[3]) Nur im „Park", auf mit Bäumen bewachsenen Grasplätzen, wurde eine derartige Hinabwaschung des „clay", der Bodenkolloide, nicht beobachtet.[4]) A. D. Hall zieht denn auch selbst sogleich die Verminderung der Regenwirkung als Erklärung heran.

Auch hebt er hervor, daß diese Beeinflussung der Auswaschung je nach den angebauten Pflanzen und dem Umstande, ob sie das Land länger oder kürzere Zeit bedecken bzw. mehr oder weniger Bearbeitung des Bodens erfordern, auch stärkere oder schwächere Chilesalpeterdüngungen verlangen, wechseln wird.[5])

---

[1]) E. Wollny, Forsch. Geb. Agrikulturphysik **12**, 35 (1889).

[2]) Auch W. Schumacher, Physik in Anwend. Agrikult. Pflanzenphys. **1**, 461 (1864), wies hierauf hin.

[3]) Oben 493. — [4]) A. D. Hall, Journ. Chem. Soc., Transact. **85**, 964 ff. (1904).

[5]) A. D. Hall, a. a. O. — R. Lang stellt, wie hier noch bemerkt sei — Zentralbl. Mineralog. (1914) 645 — fest, daß auch noch so kleine Lücken in der Pflanzendecke des Tropenbodens zu starker Fortschlämmung des Tons führen.

Es liegt nahe, daß auch dort, wo Chilesalpeterdüngung die Hinabwaschung nicht besonders begünstigt, der Regenschutz seine Bedeutung für das Vorkommen der Schattengare in etwas beschränkterem Umfange behält. So ist also E. Wollnys Ansicht noch nach einer anderen Richtung hin bestätigt worden. Das Auftreten der Schattengare ist demnach unzweifelhaft in erheblichem Maße durch eine bessere Erhaltung der ursprünglichen physikalischen Beschaffenheit des Bodens unter der Pflanzendecke bedingt, wobei wir sowohl in der von E. Wollny erwähnten Auflösung der Bodenkrümel, wie in der Hinabwaschung des „clay“ bei A. D. Hall Kolloiderscheinungen, Folgen der Bildung von Aufschwemmungen, Folgen des Eintrittes des „Sol“zustandes erblicken.

Aber damit kann die Frage noch nicht erledigt sein. Zunächst will mir scheinen, daß E. Wollny die von ihm selbst bei Bedeckung mit leblosen Gegenständen zugegebene Ansammlung von Feuchtigkeit im Boden[1]) in gewissem Sinne auch für den von Pflanzen bestandenen Boden hätte gelten lassen müssen, und zwar für dessen Oberfläche. Es ist nach allem, was wir heute darüber wissen, durchaus wahrscheinlich, daß die Verdunstung der Bodenoberfläche an sich durch auf ihr wachsende Pflanzen vermindert, und zwar recht beträchtlich vermindert wird. Auch C. v. Seelhorst rechnet hiermit bei seinen Schätzungen der Wasserabgabe durch die bloße Bodenfläche ohne Pflanzen.[2]) F. Harris und J. Robinson[3]) stellen fest, daß die Wasserverdunstung der Bodenoberfläche ganz erheblich durch Wind und Sonne erhöht wurde, was auch auf einen Nutzen der Pflanzendecke in dieser Richtung hinweist.

Wenn aber die Wasserverdunstung durch die Bodenoberfläche stark zurücktritt, so muß das gleiche auch für die Gefahr der Krustenbildung gelten, die schon infolge des Schutzes gegen den Regenanprall auf dem bewachsenen schweren Boden weniger bedrohlich erscheinen mußte.[4]) Denn nun ist die stärkere Hinaufschaffung von Bodenkolloiden aller Art[5]) durch kapillar gehobenes Wasser und ihre Einlagerung zwischen

[1]) E. Wollny, Zersetz. organ. Stoffe (1897) 291; Forsch. Geb. Agrikulturphysik **12**, 32, 41 (1889).

[2]) Vgl. auch C. v. Seelhorst, Journ. Landw. **52**, 356 (1904); **53**, 245 (1905) und anderen Orts in den Arbeiten dieses Forschers über den Wasserhaushalt des Bodens.

[3]) F. Harris und J. Robinson, Journ. Agr. Research., **7**, 449 (1916)

[4]) Solche Anschauungen sind auch E. Wollny nicht ganz fremd geblieben. Vgl. Österr. landw. Wochenblatt **8**, 249 (1882).

[5]) Auch Kalksalze werden neben anderen unter Umständen bei der Krustenbildung eine Rolle spielen können und die Bodenkolloide durch Ausflockung besser klebend machen oder auch selbst als Bindemittel zwischen den Teilchen der obersten

die Bodenteile an der Oberfläche des Landes ganz oder nahezu ausgeschlossen. Und weiter: wenn auch der pflanzentragende Boden in seiner Gesamtheit zweifellos stärker austrocknet, als der nackte, so wird doch gerade die Oberflächenschicht, die ohnehin kein Übermaß von Wurzeln beherbergt, unter Pflanzenbestand feuchter und damit weicher bleiben.

Damit scheinen wir schon zu einer Übergangsstellung zwischen den einander entgegengesetzten Ansichten von Theorie und Praxis zu gelangen. Es würde tatsächlich durch den Pflanzenbestand dahin gewirkt werden, daß die bei der Bestellung und einige Zeit danach etwa ausgetrocknete und vielleicht gar leicht verkrustete oberste Bodenschicht infolge aufsteigenden Kapillarwassers und ausbleibender oder sehr verminderter Verdunstung eine bessere physikalische Beschaffenheit aufwiese, als eine Reihe von Wochen vorher. Man denke etwa an die Erde zwischen den Drillreihen eines Haferfeldes, wenn die Pflanzen die ersten zwei Blätter entwickelt haben und dann, wenn sie im Schossen sind. — Und ich glaube heute, daß man dabei noch nicht stehen bleiben darf, sondern daß tatsächlich die Schattengare in begrenztem Umfange eine Selbstlockerung der oberen Bodenschichten darstellt, wie es die Praxis annahm, aber mit unrichtigen Gründen zu erhärten suchte.

Die mir mehrfach von glaubwürdiger Seite entgegengehaltene Erfahrung, daß auf Roggenfeldern mit eingesäter Serradella der Boden in seiner oberen Schicht kurz vor und bei der Roggenernte merkbar ungünstigere physikalische Eigenschatten aufweist, als später, im Herbst, beim Abmähen oder Unterpflügen der inzwischen kräftig herangewachsenen Serradella, kann nach E. Wollny in keiner Weise erklärt werden. Auch W. Schumacher hat „an der Oberfläche oder in den oberen Zentimetern bei geschlossen stehendem Raps, Klee, Buchweizen, sowie bei Erbsen häufig eine entschiedene Auflockerung gefunden", über deren Zustandekommen er sich „keine allseitig genügende Rechenschaft" geben konnte.[1]) Neuerdings liegen auch direkte, experimentelle Nachweise einer weitergehenden Lockerung in Gefäße eingeschlämmten Bodens durch darauf wachsende Leguminosen vor.[2]) Es muß, will man nicht diese Angaben

---

Bodenschicht wirken, und diese zu einer zusammenhängenden Masse, eben der Kruste, vereinen. Zur Bildung der zusammenhängenden, schädlichen Kruste ist es übrigens, worauf schon E. W. Hilgard hinwies, erforderlich, daß nicht gar zu viel Kolloide in ihr vorhanden sind. Denn in diesem Fall würde beim Austrocknen die Schwindung der Masse so groß sein, daß die Oberflächenschicht zerreißen müßte.

[1]) Vgl. W. Schumacher, Ackerbau (Wien 1874) 246.

[2]) M. Berkmann, Intern. Mittlg. Bodenk. 3, 7 (1913).

als unrichtig bezeichnen, und dazu sehe ich keine Veranlassung, hierbei tatsächlich eine Selbstlockerung des Erdbodens eingetreten sein; denn die bessere Anfeuchtung der obersten Bodenschicht zwischen den Pflanzen vermag meiner Ansicht nach zwar zur Erklärung beizutragen, aber doch nicht in ausreichend umfassendem Maße.

In solchem Falle, in dem ohne erneute Lockerung auf einem Boden, der seiner günstigen physikalischen Beschaffenheit schon wieder weitgehend verlustig gegangen war, sich eine dichtstehende Leguminose entwickelt, dürfte der Vorgang wohl folgender sein: Der oberflächlich erhärtete und wohl auch etwas durch Regenschlag usw. verkrustete Boden wird, wenn die heranwachsenden Pflanzen ihn gründlich bedecken, durch Vermittlung der Niederschläge und des von unten heraufsteigenden Kapillarwassers in seiner Oberschicht wieder feuchter werden,[1]) da Wind und Sonne nicht mehr auf ihn einwirken können. Gelegentlich wird ein Regen ihn stärker durchnässen, ohne daß aber bei dem dichten Blätterschutz Regenschlag oder ähnliches in Betracht kommen könnte. Auch wird die Oberschicht[2]) verhältnismäßig lange nach einem Niederschlag noch erhebliche Feuchtigkeitsmengen zurückhalten.[3]) So können die in ihr vorhandenen Kolloide im weiteren Sinne durch Quellen ihre Raumausdehnung besonders gegenüber der Zeit vor der kräftigen Entwicklung der Serradella, die wir als Beispiel behalten wollen, vermehren.

Während nun weiter in der Zeit, als der Roggen geschnitten und die Serradella unter ihm noch wenig entwickelt war, oder auch etwas vorher, in der Reifezeit des Roggens, die ihre Tätigkeit mehr und mehr einstellenden Roggenwurzeln Kohlensäure nicht mehr erheblich an die Bodenluft abgaben, war auch die Serradella noch unentwickelt. So konnte demnach, da auch eine etwaige Stalldüngergabe zum Roggen doch um die Zeit seiner Reife weitgehend zersetzt sein mußte, die Bodenluft nur recht geringfügige Kohlensäuremengen enthalten. Dem entspricht recht wenig gelöstes Kalziumkarbonat in der Bodenlösung. Da weiter der Roggen und die junge, noch weniger mit ihren Knöllchen arbeitende Serradella auch die Salpetersäure weitgehend aufgenommen haben werden, so gilt das gleiche für Kalziumnitrat. Es kommt noch hinzu, daß ein auf den durch reifenden Roggen wie junge Serradella nur mäßig ge-

---

[1]) Vgl. W. Schumacher, Physik in Anwend. a. Agrikultur- u. Pflanzenphys. 1, 461 (1864).

[2]) Nur von ihr, also den obersten Zentimetern, ist die Rede. Tiefer unten trocknet die üppig stehende Pflanzenmasse natürlich den Boden stärker aus, als es für das entsprechende Land ohne Pflanzenwuchs der Fall sein würde.

[3]) Vgl. z. B. C. Schulz-Fleth, zit. nach W. Schumacher, a. a. O. 463.

schützten Boden niederfallender stärkerer Regen rasch die geringen vorhandenen Kalkspuren aus den oberen Schichten des Bodens herausgewaschen haben dürfte, so daß sich dann eine Kruste bildete. Bevor wieder durch kapillar ansteigendes Wasser die wenigen Kalksalze wieder in die höheren Schichten gehoben waren, um hier in der öfters besprochenen Art und Weise Krümel zu bilden und so der Krustenbildung entgegenzuarbeiten, war schon so viel von der Regenfeuchtigkeit wieder versickert und verdunstet, daß jetzt eine Flockenbildung zur Verhütung der Kruste nicht mehr in Betracht kam, im Gegenteil durch aufsteigende Kalksalze die Kruste nur noch dichter und fester wurde.[1]) Daher denn die ziemlich ungünstige Bodenbeschaffenheit beim Schnitt des Roggens, und zumal kürzere Zeit nachher.

Diese wenig lösliche Kalksalze führende, oberste Schicht erhält nun, wie erwähnt, nach Bildung einer dichten Pflanzendecke die Möglichkeit zu quellen, und wenn auch nicht feucht, so doch frisch zu bleiben. Gleichzeitig hat sich unter dem Einfluß der besonders durch den Knöllchenbesatz erheblich vermehrten Wurzelmasse der Serradella die Kohlensäuremenge in der Bodenluft wesentlich gesteigert und damit auch die Konzentration der im Bodenwasser gelösten Kalksalze. Da sie durch herabströmenden Regen selbst bei heftigeren Güssen nicht erheblich in die Tiefe gewaschen werden dürften,[2]) —hemmt doch die Pflanzenmasse die Wucht des Niederschlages und hält einen erheblichen Teil desselben vom Boden ab, bzw. läßt ihn nur langsamer auf denselben gelangen — so können sie ihren Einfluß auf die Bodenkolloide auch in solchem Falle äußern. Der Erfolg wird der sein, daß überall, wo Teilchen in Wasser aufgeschwemmt werden, Krümelbildung unter dem Einfluß der Kalksalze einsetzt, und daß dort, wo Bodenkolloide oder auch der ganze Boden als solcher gequollen ist, bei dem dann wieder eintretenden Verdunsten des Wassers, das der Beschattung halber nur recht langsam vor sich gehen dürfte, das Schwinden nicht wieder bis zu dem vor dem Aufquellen vorhandenen Volum geht, sondern schon vorher aufhört, eben des Vorhandenseins der ausflockenden Kalksalze halber. Daß Kalkhydrat die Schwindung[3]) von Ton in „ganz außerordentlicher Weise vermindert", fand ja bereits

[1]) Vgl. dazu das oben auf Seite 648, Anm. 5 Gesagte.

[2]) Th. Schlösing d. Ä. weist auch darauf hin, daß langsam durch den Boden sinkendes Wasser Gelegenheit hat, selbst wieder Kalksalze aus dem Boden aufzulösen und derart auf dessen Kolloide zu wirken. Vgl. Ann. chim. et phys. (5) **2**, 522 (1874). Ist der Boden durch darauf wachsende Pflanzen kohlensäurehaltig, so wird dies um so besser der Fall sein.

[3]) E. Wollny sagt „Kontraktion".

E. Wollny,[1]) was indessen, worauf schon hingewiesen werden konnte, unrichtig ist. Denn bei der sehr langen Dauer der Versuche Wollnys hat dieser nicht mit Ätzkalk, sondern mit Kalziumkarbonat bzw. Kalziumbikarbonat gearbeitet. Nach den weiter oben gegebenen Ausführungen muß Ätzkalk durch sein Hydroxylion auf die Vermehrung des Schwindens wirken, Kalziumbikarbonat dagegen auf seine Verminderung. Quellen und Schwinden als Lockerungsmittel eines Lehmbodens, der wahrscheinlich lösliche Kalksalze zur Verfügung stellen konnte, beobachtete ja schon W. Schumacher genau, dessen lehrreiche Ausführungen ich oben besprochen habe.[2])

Auch mag, wie ähnliches schon früher einmal erwähnt wurde,[3]) die reiche Durchwurzelung des Bodens in seinen tieferen Schichten, die unter einem gut bestandenen Leguminosenfelde zu erwarten ist,[4]) sowohl die Durchschlämmung noch mehr hindern, wie auch für die tieferen Schichten bei nachherigem Pflügen das Zerfallen in Krümel erleichtern.[5]) Auch dies wäre eine neu auftretende, wenn auch nur indirekte Folge der Beschattung und hier für unsere Darlegungen heranzuziehen. Damit mag eine Erklärung der Schattengare versucht, nicht aber in voll befriedigendem Maße erzielt sein. Dazu würde eine experimentelle Durchprüfung gehören, die nicht ohne jahrelange Mühe und große Mittel durchführbar wäre. Nachzutragen ist noch, daß gewiß auch hier Unterschiede nach den verschiedenen Pflanzen vorkommen werden. Ansätze zu einer derartigen Unterscheidung gab E. v. Benkovich auf Grund praktischer Erfahrung, indem er Leguminosen einerseits, Gramineen andererseits als Grenzgruppen betrachtete, zwischen denen die anderen Kulturpflanzen ständen. Er will sogar durch die Einwirkung der Schlafstellung bei den Leguminosen noch eine stärkere Betauung des Bodens annehmen.[6])

[1]) E. Wollny, Forsch. Geb. Agrikulturphysik **20**, 21 (1897/98).

[2]) Vgl. auch W. Schumacher, Ackerbau (Wien 1874) 42.

[3]) Vgl. oben 379.

[4]) Im Durchschnitt dürfte das Wurzelsystem von Leguminosen umfangreicher und kräftiger ausgebildet sein, als das von Gramineen. Vgl. auch z. B. O. Lemmermann, Landw. Versuchsstat. **67**, 213 (1907).

[5]) O. Pitsch sagt hierzu: „Wie die oberirdischen Pflanzenteile das direkte Aufschlagen der Regentropfen verhindern und durch teilweises Zurückhalten des Wassers das Eindringen des letzteren in den Boden verlangsamen, so wirken die den Boden überall durchziehenden Wurzeln einer Verschiebung der Bodenteile entgegen. Wo die Wurzelhaare mit den Bodenteilchen verwachsen sind, ist eine Ortsveränderung derselben durch die Wirkung des Wassers überhaupt ausgeschlossen." Vgl. Theorie d. Bodenbearb. (Dresden 1884) 89.

[6]) E. v. Benkovich, Fühlings landw. Ztg. **26**, 569 (1877).

Auch W. Schumacher stellt Klee, Erbsen, Lupinen u. dgl. den Getreidearten gegenüber.[1]) In gleicher Weise kommt E. Wollny[2]) im Anschluß an seine Stellungnahme gegenüber der soeben behandelten Frage zu einer Besprechung des Fruchtwechsels. Daß die Schattengare jedenfalls auch noch einige Zeit nach der Beseitigung der deckenden Frucht vorhanden bleibt und dann, natürlich auch je nach der herrschenden Witterung und anderen Umständen, verschieden schnell schwindet, erweisen E. Wollnys Untersuchungen, die leider nur wenige Fälle umfassen. Immerhin fand dieser Forscher auf humosem Kalksandboden, der von Wicken beschattet gewesen war, noch zehn Tage nach der Ernte eine experimentell nachweisbare Wirkung der Schattengare.[3]) Zweifellos wird schwererer Boden, Lehm oder Ton, ganz andere Ergebnisse zeitigen.

Ganz besonders muß natürlich eine Schattengare in Erscheinung treten, wo die Pflanzen jahraus, jahrein auch im Winter das Land bedecken, wie auf Wiese und Weide. Daher erklärt es sich, daß in solchem Fall sogar die sonst so verderbliche Wirkung der vom Chilesalpeter im Boden übrig bleibenden Soda ihre Nachteile in Rothamsted nicht merkbar zu zeigen vermochte. Doch dürfte hierfür noch zu beachten sein, daß für das Ausbleiben einer nachweisbaren Durchschlämmung feinster Teilchen, um die es sich dort handelte, auch die Beschattung durch Bäume eine Rolle spielte. Darauf wird noch einzugehen sein.

Ist das Grasland Wiese, d. h. wird es mehrfach im Jahre geschnitten, ohne aber dauernd durch Beweiden niedrig gehalten zu werden, so kommt noch dazu in Betracht, daß es dann einen besonders starken Wasserverbrauch aufweist. Der von C. v. Seelhorst für den Wasserverbrauch von Wiesenland ermittelte Betrag ist der höchste für alle der von ihm durchgeprüften landwirtschaftlichen Nutzungen und übertrifft sogar den für Mähklee noch um ein Erhebliches.[4]) Daher wird hierdurch der Hinabschlämmung auch entgegengewirkt werden.

4. Kahlschlag und Waldfeldbau.

In vieler Hinsicht muß sich die Wirkung des Kahlschlages, den unsere moderne Forstwirtschaft ja mehr und mehr wieder zu besei tigen sucht, auf den Boden im Walde in ähnlicher Weise als ein Fort-

[1]) W. Schumacher, Physik in Anwend Agrikult. u. Pflanzenphys. **1**, 463 (1864).

[2]) E. Wollny, Forsch. Geb. Agrikulturphysik **12**, 40 (1889).

[3]) Ebenda 33.

[4]) Klee verbrauchte während seines freilich schon Ende August beendeten Wachstumes 434,3 kg Wasser auf das Quadratmeter, Wiese bis Mitte September aber 481,1 kg. Vgl. Journ. Landw. **53**, 256 (1905), **58**, 85 (1910) und **59**, 276/77 (1911).

fall der Schattengare kennzeichnen, wenn man diesen Ausdruck im übertragenen Sinne hierfür anwenden darf.

Schon C. Emeis[1]) hat darauf hingewiesen, daß unsere Forstkultur im Gegensatz zum Naturwalde in dieser Richtung leicht zu Bodenschädigungen führen muß. Wo im Naturwald ein Stamm fortfällt, gibt es eine nur kleine Lücke; das gleiche ist der Fall, wo schmale Hiebstreifen angewendet werden. Aber bei großen Lichtungen tritt schnelle Zersetzung der Humusdecke auf, der Regen prallt auf den Boden und die Sonne führt zur Erhärtung der oberen Krumenschicht. Dazu kommt der Fortfall der Durchrüttelung der Erde infolge der Bewegungen der Bäume bei Wind u. a. Aber als besonders wichtig muß uns auch in Erinnerung an die günstige Wirkung der Bäume im Rothamsteder Park[2]) der Schutz gegen den Regenaufprall erscheinen. Wird auf der Kahlschlagfläche gar noch durch Ausroden der Stubben die Erde in erheblicherem Maße gelockert, so sind die Bedingungen für die Durchschlämmung sehr günstig, und werden noch günstiger, wenn angesammelte saure Humusmassen dem versinkenden Regenwasser die nötigen Mengen von Schutzkolloiden mit auf den Weg geben, wenn also der Boden kalkarm ist. Dann ist Ortsteinbildung oder jedenfalls gründliche Bodenverschlechterung nahezu mit Sicherheit zu erwarten, während sie bei einem Plenterbetriebe, oder einer sich an einen solchen irgendwie anlehnenden Wirtschaftsweise zum mindesten weit hinausgeschoben worden wäre.

Bedeutungsvoll in dieser Hinsicht sind noch Untersuchungen von E. Hoppe,[3]) der beim Vergleich von Altholzbeständen mit Schlagflächen, oder auf solchen geschaffenen, jungen Kulturen in einer ganzen Reihe von Fällen fand, daß der Waldboden unter Altholzbestand meist höhere Anteile der Korngrößen unter 0,25 mm Durchmesser enthält, als die in Schlagflächen geworbenen Proben. „Diese wiederholt, und bei fast allen untersuchten Böden auftretende Verschiedenheit mag vielleicht doch mehr als ein Zufall sein,“ so daß die Regenwirkung auf den Schlagflächen eine weit heftigere wäre, als im Altbestand.

Ähnlich wie Kahlschlag muß in einer Hinsicht die Unterbrechung der Bestockung wirken, wie sie der Waldfeldbau mit sich bringt. Sehr wahrscheinlich führt auch er zur Hinabschlämmung, obwohl günstige Wirkungen auf die Bodenkolloide ebenfalls durch den Waldfeldbau herbeigeführt werden können und so das Bild verdunkeln. Immerhin glaube ich aber, daß man die Werte, welche E. Ramann bei seinen Unter-

---

[1]) C. Emeis, Allg. Forst- u. Jagdztg., n. F., **81**, 366/7 (1905).

[2]) Oben 647 und 653.

[3]) E. Hoppe Zentralblatt ges. Forstwes. **24**, 51, (1898).

suchungen erhielt, zum Teil auch im Sinne einer Auswaschung feinster Teile beim Waldfeldbau deuten könnte.[1])

Daß die Waldstreu, welche den Boden vor dem Regenaufprall schützt und ihm auch eine gewisse Schattengare vermitteln kann, in dieser Richtung nützlich wirkt, bedarf wohl kaum eines Beweises.[2]) Aber wenn sie sich in größerem Umfange anhäuft, kann sie ja durch Bildung von Humusstoffen, die sich als Schutzkolloide betätigen, die Durchschlämmung noch besonders fördern und zur Entstehung der schwersten Bodenschäden führen, wie oben ausgeführt wurde. So wird dies schwierige Gebiet eine Behandlung erfordern, die weiter ins einzelne gehen müßte, als hier möglich ist. Es sei daher an diesen kurzen Worten genug, hoffentlich findet sich bei einer später einmal möglichen Neubearbeitung die Gelegenheit, mehr zu bringen, wenn friedliche Zeiten mehr Muße bieten. Ebenso muß jetzt nur ein Hinweis auf die sehr verschiedenen Wirkungen besonders des Laub- und Nadelholzes für die Streubildung und damit für das Bodengefüge genügen. Weiter wäre es sehr lohnend und dringend erforderlich, noch manche anderen forstlichen Fragen für das Gebiet der Bodenkolloide aus der durchaus noch nicht genügend verwerteten Literatur heranzuziehen und eingehender zu behandeln. Leider ist freilich das, was an exakten Untersuchungen hierfür vorliegt, aus naheliegenden Gründen besonders gering, da es ja ungleich weniger Gelegenheit zu forstlichen Boden**un**tersuchungen gegeben hat und gibt, als zu landwirtschaftlichen, und auch die Schwierigkeiten für den Waldboden ganz erheblich größere sind.

5. Kohlensäurebildung durch Pflanzen.

Zum Schluß sei noch eines, allerdings bereits gelegentlich berücksichtigten Umstandes gedacht, der Kohlensäurebildung durch die verschiedenen Arten des Pflanzenbaues, soweit dabei die Vermehrung der in der Bodenluft und damit dem Bodenwasser enthaltenen Kohlensäure in Betracht kommt. Man erkennt schon, daß nach dem bereits häufig Gesagten dieser Umstand in der Richtung der Bereitstellung leicht löslicher Kalkverbindungen und ihres Einflusses auf die Bodenkolloide eine erhebliche Wichtigkeit für die Bodenstruktur besitzen kann.

Zunächst liegt von E. Ebermayer die Feststellung vor, daß die Luft im bewaldeten Boden durchgehends viel ärmer an Kohlensäure war, als im benachbarten, gedüngten und humosen Ackerfelde. Die allerdings in

---

[1]) E. Ramann, Zeitschr. Forst- u. Jagdwes. **22**, 659 (1890).

[2]) Vgl. auch E. Ebermayer, Naturforscher **9**, 121 (1876).

ziemlich erheblicher Bodentiefe vorgenommenen Untersuchungen wiesen derartig große Unterschiede auf,[1]) daß an ihrer Richtigkeit wohl kaum zu rütteln ist. Daß außerdem die Kohlensäurebildung in der warmen Jahreszeit die stärkere war, ist fast selbstverständlich. — Während dann einige andere Untersuchungen, die mehr vom hygienisch-medizinischen Standpunkt aus durchgeführt sind, wenig für unsere Zwecke Verwendbares bieten,[2]) ist über den Unterschied des brachliegenden Bodens von dem pflanzentragenden bezüglich seines Kohlensäuregehalts von verschiedenen Seiten gearbeitet worden. Man darf aus diesen Untersuchungen vielleicht den Schluß ziehen, daß humoser Boden in frisch eingefüllten Gefäßen für bepflanztes Land ärmer an Kohlensäure ist, als für vergleichbares brachliegendes Land.[3]) Dagegen erscheint es mir zweifellos, daß die Ansichten von E. Wollny, daß überhaupt der von lebenden Pflanzen bestandene Boden in der wärmeren Jahreszeit weniger Kohlensäure enthalte, als der brachliegende,[4]) nicht das Richtige treffen. Von anderem abgesehen, enthielt der Boden bei E. Wollny keine Winterfeuchtigkeit,[5]) die Grasdecke war zum Teil durch Auflegen von Rasenstücken geschaffen,[6]) zum Teil ganz jung[7]) und daher gewiß nur mäßig entwickelt. Außerdem hat E. Wollny selbst bei seinen Untersuchungen des Kohlensäuregehalts eines Kartoffel- bzw. Maisfeldes ganz ungleich höhere Werte erhalten, als bei den Versuchen auf Grasland, auf die er seine Schlüsse stützt.[8]) Da nun weiter nicht nur J. Möller,[9]) sondern auch Th. Schlösing d. J.,[10]) dieser gerade für Grasland im Vergleich mit bearbeitetem Boden, und endlich auch R. Lau[11]) einhellig fanden, daß der Kohlensäuregehalt des mit Pflanzen besetzten Landes der höhere ist, so wird man diesem auch aus theoretischen Gründen wahrscheinlicheren Ergebnis zustimmen

---

1) E. Ebermayer, Forsch. Geb. Agrikulturphysik **13**, 15 (1890).

2) So C. Salger, Inauguraldissertation Erlangen (1880) und J. v. Fodor, Vierteljahrsschr. öffentl. Gesundheitspflege **7**, 205 (1882). Auch L. Magnin, Ann. science agr. **2**, 1 (1896), mag hier erwähnt sein. Endlich P. Smolenski, Zeitschr. Biol. **13**, 383. (1877).

3) Vgl. die Arbeiten von E. Wollny in nächster Anmerkung.

4) E. Wollny, Forsch. Geb. Agrikulturphysik **3**, 8 (1880); **9**, 185 (1886).

5) Ebendort **3**, 3 und **9**, 174; vgl. aber 178.

6) Ebendort **3**, 4. — 7) Ebendort **9**, 184.

8) Man vergleiche ebendort **9**, 176 mit 185.

9) J. Möller, Mitteil. forstl. Versuchsw. Österr. **2**, 121 ff. (1878), und besonders Forsch. Geb. Agrikulturphysik **2**, 329 (1879).

10) Th. Schlösing d. J., Compt. rend. **109**, 618 u. 673 (Paris 1889).

11) R. Lau, Inauguraldissertation Rostock (1906). Die noch von P. Vageler, Mitteil. Bayer. Moorkulturanstalt **1**, 30 (1907), veröffentlichten Angaben über die Bodenluft in Mooren können wohl hier nicht mit Erfolg herangezogen werden.

müssen. Von den Getreidearten atmet nach P. Barakow der Hafer am stärksten, weniger die Gerste, noch schwächer das Wintergetreide, zumal der Weizen.[1]) Auch J. Stoklasa und A. Ernest ermittelten für den Hafer eine besonders starke Atmungsenergie gegenüber der Gerste,[2]) während Roggen mehr dem Hafer, Weizen mehr der Gerste ähnlich war, dagegen Buchweizen den Hafer fast um das Doppelte übertraf. Für weißen Senf beobachtete P. Kossowitsch im Versuch, daß in 75 Tagen ein Hektar mit Senf bebautes Land, vom 18. Tage nach der Aussaat an gerechnet, durch die Wurzeln 2250 kg CO_2 ausschied.[3]) Noch mehr gibt die Gerste ab, weniger der Lein.[4]). Besonders werden Rüben,[5]) Kartoffeln[6]) und Lupinen[7]) viel Kohlensäure an die Bodenluft abgeben. Man könnte vielleicht noch hiergegen den Schluß von A. Mitscherlich anführen, daß der Atmungsbedarf der Pflanzenwurzeln ein sehr geringer sein müsse, da man doch die Pflanzen in Wasserkulturen erziehen könne.[8]) Dieser Forscher beachtet aber dabei nicht, daß man schon bei der Erziehung von Mais in Wasserkultur, noch viel mehr aber bei Pflanzen, die starke Wurzeln ausbilden, wie Rüben, für Luftzufuhr zum Wasser sorgen muß und sie auch dann noch nur schwer aufziehen kann,[9]) und daß auch unbewußt bei sehr vielen Wasserkulturversuchen durch häufigen Wechsel der Nährlösung u. dgl. dies ohnehin geschehen ist. Auch mag auf die Erfahrungen von J. Wilms[6]) und mir[5]) hingewiesen werden, sowie auf J. Arkers Untersuchungen[10]) und die Feststellungen A. D. Halls und seiner Mitarbeiter,[11]) sowie auf Ansichten von H. Süch-

[1]) P. Barakow, Journ. exp. Ldw. **11**, 343 (1910).

[2]) J. Stoklasa und A. Ernest, Jahrb. wissensch. Botanik **46**, 55 (1909).

[3]) P. Kossowitsch, Journ. für exp. Landw. **5**, 497 u. 499 (1904).

[4]) Derselbe. ebendort, **7** (1906) 251.

[5]) P. Ehrenberg, Zeitschr. Pflanzenkrankh. **16**, 193 (1905). Die Ansicht von P. Sleskin daß die Bearbeitung des Bodens während des Wachstums der Zuckerrübe keinerlei Bedeutung für die Atmung der Wurzeln hat, erscheint durch sein Versuchsmaterial nicht ausreichend gesichert. Journ. exp. Ldw. **9**, 482 (1908).

[6]) J. Wilms, Journ. Landw. **47**, 261 (1899).

[7]) R. Lau, a. a. O., fand besonders für Kartoffel- und Lupinenfeldboden hohen Kohlensäuregehalt. Auch P. Barakow findet unabhängig für Lupinen, Rüben und Kartoffeln stärkste Atmung. Vgl. Journ. exp. Ldw. **11**, 342 u. f. (1910).

[8]) A. Mitscherlich, Bodenkunde, 2. Aufl. (1913) 151; dazu u. a. F. Czapek, Biochemie d. Pflanzen **2**, 374 (Jena 1905). J. Wortmann, Bot.-Ztg. (1892) 643.

[9]) A. Mayer, Agrikulturchemie **1**, 6. Aufl., 257 (1905); P. Bretschneider, Landw. Zentralbl. Deutschl. **23**, 56 (1875), nach Biedermanns Zentralbl. Agrikulturchem. **7**, 349 (1875).

[10]) J. Arker, Inauguraldissertation Erlangen (1900) 72.

[11]) A. D. Hall, W. E. Brenchley, L. M. Underwood, Philos. Transact. Roy. Soc. London **204**, 197/8 (1914).

ting.[1]) Endlich ist die Ausbildung der Wurzeln in Wasser und im Erdboden eine verschiedene. — So muß der von den Pflanzenwurzeln ausgeschiedenen Kohlensäure[2]) ein großer Einfluß auf die Lösung von kohlensaurem Kalk zugeschrieben werden,[3]) während die mit der Salpetersäure und anderweit von den Pflanzen aufgenommenen Kalkmengen, wie oben gezeigt werden konnte, dagegen völlig zurücktreten. Beides kann nicht ohne Einfluß auf die Gestaltung der Vorgänge bei Veränderungen der physikalischen Bodenbeschaffenheit sein.

6. Bodenkleinlebewesen.

Daß auch die Bodenkleinlebewesen mit ihrer Kohlen- und Salpetersäurebildung eine unter Umständen, bei Vorhandensein reichlicher Nahrungsstoffe und sonstiger günstigen Bedingungen für sie, sehr bedeutungsvolle Rolle für die Beeinflussung der Bodenkolloide spielen müssen, war bereits betont. Es mag vielleicht noch darauf hingewiesen werden, daß das auch für die Salpeterzerstörer gelten kann, wenn diese im Boden zu wirksamer Betätigung kommen sollten. Denn sie müssen an Stelle des Neutralsalzes Salpeter — wenigstens soweit es sich um Chilesalpeter handelt — das alkalisch reagierende kohlensaure Natron, Soda, mit seinen, die Bodenkolloide in die Solform überführenden Hydroxylionen entstehen lassen.

Bezüglich der Bakterien und ihrer Beziehungen zu den Bodenkolloiden mag noch folgendes angeführt sein: Wenn ich in einer früheren Arbeit[4]) für einen kalkarmen Sandboden und noch mehr für einen kalkarmen Tonboden eine verhältnismäßig starke Schädigung des Bakterienlebens feststellen konnte, und wenn entsprechend Th. Remy[5]) umgekehrt auf einem in hervorragend garem Zustand befindlichen Boden reiche Azotobakterentwicklung nachwies, während ein dicht daneben gelegener Boden, der durch systematische Vorenthaltung von Kalk und Stallmist in eine trostlose mechanische Verfassung geraten war, keine Azotobakterentwicklung erkennen ließ, so mag vielleicht folgende Überlegung[6]) etwas

[1]) H. Süchting, Fühlings Landw. Ztg. **61**, 481 (1912).

[2]) P. Barakow sieht sogar in der Atmung der lebenden Pflanzenwurzeln die Hauptquelle der Bodenkohlensäure und stellt ihr auf Grund seiner Versuchsergebnisse die Kohlensäurebildung aus sich zersetzenden organischen Resten entschieden an Bedeutung nach. Journ. exped. Ldw. **11**, 342/43 (1910).

[3]) Vgl. P. Kossowitsch, a. a. O. 498.

[4]) P. Ehrenberg, Landw. Jahrb. **33**, 1 (1904).

[5]) Th. Remy, Landw. Jahrb. **35**, Ergbd. 4, 37 (1906).

[6]) Vgl. auch meine früheren Ausführungen Koll.-Zeitschr. **3**, 205/6 (1908).

zur Erklärung beitragen: Neben, und gewiß nach anderen, vielfach stärker wirkenden Umständen, wie Reaktion u. dgl., könnte die durch den Kalkmangel hervorgerufene, ungünstige physikalische Beschaffenheit der Böden, ihre Einzelkornstruktur, eingewirkt haben. Einzelkornstruktur zumal eines an sehr kleinen Bodenbestandteilen reichen, mehr tonigen Bodens dürfte, von der stark verminderten Luftzufuhr abgesehen, bereits die Bewegungsmöglichkeiten der Kleinlebewesen bei ihrem Suchen nach Nahrung stark einschränken, da die Bodenporen sich als ganz außerordentlich verkleinert erweisen müssen. A. Atterberg[1]) konnte z. B. feststellen, daß bei Sanden von weniger als 0,02 mm Durchmesser und Einzelkornstruktur bereits die Wurzelhaare der Gräser nicht mehr in die Zwischenräume einzudringen vermochten, weil sie dazu eben keinen Platz fanden. Nun sind zwar die Maße für die Wurzelhaardicke der Gräser etwa 6—10 Mikra,[2]) für die Durchschnittsdicke der Bakterien aber nur rund 1 Mikron.[3]) Dafür nimmt W. R. Williams[4]) indes für Tonteilchen, die bereits teilweise zusammengeballt sind, nur Durchmesser von etwa 1 Mikron an, so daß bei schweren Böden in Einzelkornstruktur jedenfalls mit der Möglichkeit zu rechnen wäre, daß ein gewisser Raummangel für Bakterien eintreten kann. Für die großen Azotobacterbakterien würde derartiges besonders leicht der Fall sein können. Freilich scheint nach weiteren Angaben Th. Remys auch mancherlei gegen solche Annahmen zu sprechen,[5]) so daß man jedenfalls besondere diesbezügliche Untersuchungen abwarten müßte. Ferner hat O. Rahn[6]) sich mit der Bedeutung der Korngröße des Bodens für die Lebensbedingungen seiner Bakterien beschäftigt. Er sieht „als maßgebende, physikalische Faktoren für das Leben der Bodenbakterien den Sauerstoffersatz und die Dicke der sich um die einzelnen Bodenteilchen bildenden Wasserhüllen an, die beide wieder von der Korngröße des Bodens und seinem Wassergehalt abhängen. Die mittlere Korngröße von Ackerböden ist so gering, daß die günstigste Dicke der Wasserhülle nur dann erreicht werden kann, wenn der Boden wassergesättigt ist; in diesem Fall ist aber natürlich keine Durchlüftung vorhanden. Demnach können also die aëroben Bakterien im Ackerboden niemals optimale Lebensbedingungen haben." Dies würde für die Leistungen zum Beispiel des stark sauerstoffbedürfenden

[1]) A. Atterberg, Landw. Versuchsstat. **69**, 127 (1908).
[2]) Ebenda 126.
[3]) Fr. Lafar, Techn. Mykologie **1**, 32 (Jena 1897).
[4]) W. R. Williams, Forsch. Geb. Agrikulturphysik **18**, 250 (1895).
[5]) Th. Remy, Zentralbl. Bakteriol., Teil 2, **22**, 577 (1907).
[6]) O. Rahn, Zentralbl. Bakter. (2) **35**, 429 (1912).

Azotobakter recht wenig günstige Aussichten eröffnen, so daß die vor vielen Seiten diesem Stickstoffsammler beigemessene Bedeutung kaum berechtigt sein könnte.

Ohne indes auf diesen Punkt näher eingehen zu wollen, muß ich hie nur kurz feststellen, daß die Schlüsse und Ermittelungen Rahns in keine Weise mit dem Bodengefüge rechnen. Infolge der Tatsache der Krümel bildung im Boden ist es möglich, daß innerhalb des einzelnen Boden krümels der Boden ganz oder nahezu wassergesättigt ist, während da Krümel von größeren Bodenhohlräumen begrenzt ist, die Luft zuführen Es können ganz im Gegenteil zu den Angaben Rahns, der sich den Boden nur als in Einzelkornstruktur vorhanden vorzustellen scheint, sehr woh nebeneinander im Erdboden recht ausreichende Durchfeuchtung und stark Durchlüftung vorhanden sein und auf das Bakterienleben wirken. –

Als Seltsamkeit sei schließlich erwähnt, daß die beiden haupt sächlichsten Bodenkolloide nicht nur bei wilden oder ausländischen Völkern,[1]) sondern sogar in Deutschland noch vor kurzer Zeit auch von Menschen genossen wurden. Ton von Arbeitern in den Sandsteingruben des Kyffhäusers anstatt Butter auf Brot, und Humus in Form des Dopp lerits von Torfgräbern im Feilenbacher Moor in Südbayern wie Kau tabak verwendet.[2]) –

---

[1]) Vgl. für Japan Love, Dingl. polyt. Journ. **237**, 84 (1880); für Ungar: J. Brix, Chem. Zentralbl. (3) **6**, 542 (1875).

[2]) H. Gruner, Grundriß d. Gesteins- u. Bodenk. (Berlin 1896) 415. Vgl auch noch Joh. Brix, Chem. Zentralbl. **6**, 542 (1875).

SCHLUSS.

Damit stehe ich am Ende meiner Ausführungen. Ein weites, fast grenzenloses Gebiet ist auf nur schmalem Wege durchmessen, wie wohl früher ein Forschungsreisender flüchtigen Fußes den dunklen Erdteil durchquerte. Nur ein allgemeiner, in der Fülle der Erscheinungen verschwimmender Eindruck des Vorhandenen konnte gewonnen, nur gelegentlich der Versuch, etwas eingehendere Erkenntnis zu vermitteln, gewagt werden. Es ist jetzt Sache nicht nur dessen, der diese Zeilen schrieb, sondern auch seiner Berufsgenossen, das ausgedehnte Neuland unserer Kenntnis und der wissenschaftlichen sowie, wenn möglich, der praktischen Ausnutzung zu erschließen. Bei keiner wissenschaftlichen Arbeit über Erdboden, Düngung und vieles Ähnliche sollte man versäumen, auch Erscheinungen von der Art der hier besprochenen nachzugehen, um so auf der Landkarte unseres Wissens an Stelle der unbekannten Gegenden bekanntes und durchforschtes Gebiet zu setzen.

Um aber zu solchen Untersuchungen anzuregen, möchte ich nur noch einmal zusammenfassend auf die große Fruchtbarkeit hinweisen, welche eingehende Beachtung und Prüfung der neuen Probleme der Kolloidforschung für Agrikulturchemie und Pflanzenbaulehre, vor allem aber im einzelnen gerade für Bodenkunde und Ackerbaulehre in Aussicht stellt.[1]) Als vor nunmehr über fünfzig Jahren der erste Pfadfinder auf diesem Gebiet, der deutsche Agrikulturchemiker F. Schulze[2]) seine sorgfältigen Untersuchungen über Tonausflockungen nach nahezu zwanzig Jahren diesbezüglicher Forschung in größerem Umfange veröffentlichte, schloß er mit der Hoffnung, daß die sich aus seinen Beobachtungen ergebenden „höchst bedeutungsvoll erscheinenden Perspektiven nach dem agronomischen Gebiete hin" gebührende Berücksichtigung durch die wissenschaftliche Landwirtschaft finden würden. Heute wende ich mich mit der gleichen Erwartung an die Leser. Möge meine Hoffnung eine bessere Erfüllung finden, als die des alten Gelehrten! —

So schrieb ich vor mehr als drei Jahren. —

[1]) Vgl. meine ähnlichen Angaben, P. Ehrenberg, Koll.-Zeitschrift 3. 206 (1908).

[2]) F. Schulze, Ann. Phys. Chem., (5). 9. 382 (1866).

Ich könnte mir denken, daß die durch viele Ereignisse der letzten drei Jahre weitaus gesteigerte Bedeutung unserer deutschen Landwirtschaft dazu führen wird, daß man nach Abschluß des Krieges auch der Lehre und Forschung über Ackerbau und **Bodenkunde und** damit auch den Bodenkolloiden eine größere Beachtung schenkt als zuvor. Vielleicht ist es da gestattet, einen schon von seiner reichen Lebensarbeit ausruhenden Vertreter der Bodenkolloid-Forschung, J. M. van Bemmelen,[1]) über die zweckmäßige Gestaltung solcher Untersuchungen zu hören. Er hat zwar damals die niederländische Tabakkultur in den Kolonien im Auge gehabt, seine Worte sind aber auch auf andere landwirtschaftliche Verhältnisse ohne weiteres anwendbar:[2])

„Wenn wissenschaftliche Untersuchungen und Kulturversuche nützen sollen, wenn man die Ursachen auffinden will, so müssen diese Untersuchungen unter Leitung eines" — oder mehrerer — „tüchtigen Agrikulturchemikers stattfinden, der schon durch frühere Arbeiten bewiesen hat, daß er wissenschaftliche Aufgaben zu bearbeiten und zu lösen versteht. Er muß jedoch ganz frei arbeiten und nicht verpflichtet werden, in bestimmter Zeit neue Entdeckungen zu machen, oder vorteilbringende Ergebnisse zu erhalten — auf die Gefahr hin, daß die Untersuchungsanstalt sonst aufgehoben wird. Ein genaues und echt wissenschaftliches Studium, außerdem ein kritisches Sammeln aller im großen gemachten Erfahrungen, alles muß ruhig in Arbeit genommen werden, unbekümmert darüber, ob sich diese Untersuchungen schon in kürzerer Zeit rentabel machen werden für die Kultur. Man muß sich anfänglich mit der Hoffnung zufrieden geben, daß strenge, wissenschaftliche Untersuchungen immer, früher oder später, Neues und Nützliches für die Bodenkultur ans Licht bringen. Man muß überzeugt sein, daß sie die einzige, wahre Grundlage bilden, um die rohe, empirische durch eine rationelle Kultur zu ersetzen, welche eine stets zunehmende Sicherheit des Erfolges gewährt. Nur die wissenschaftliche Untersuchung kann den wahren Zusammenhang der Erscheinungen in ihrer Notwendigkeit erforschen; nur auf diese muß sich eine rationelle Kultur stützen."

Ich wüßte diesen Ratschlägen nichts hinzuzufügen. Weitsichtige Förderung der Landwirtschaft wird sie zu verwirklichen wissen.

---

[1]) Er war mit Th. Schlösing d. Ä., E. Wollny und E. W. Hilgard wohl der erste bedeutende Vertreter neuzeitlicher Bodenkunde.

[2]) J. M. van Bemmelen, Landw. Versuchsstat. **37**, 407/408 (1890).

NAMENVERZEICHNIS.

SACHVERZEICHNIS.